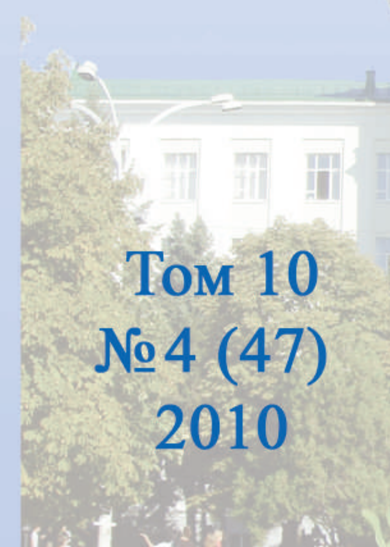
ISSN 1992-5980



ВЕСТНИК

ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

К 80-летию университета





Том 10
№4 (47)
2010

ВЕСТНИК
ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2010

Т.10 №4(47)

Теоретический и научно-практический журнал

Рекомендован ВАК для публикаций основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (решение Президиума ВАК Минобрнауки России от 19 февраля 2010 года № 6/6)

Издается с 1999 г.

Учредитель – **Донской государственный технический университет**

Подписано в печать 17.09.2010.
Формат 60×84/8. Гарнитура «Tahoma». Печать офсетная.
Усл.печ.л. 19,6. Тираж 1000 экз. Заказ №467. Цена свободная.

Адрес редакции:
344000, г.Ростов-на-Дону, пл.Гагарина, 1,
тел. 2-738-747.

Адрес издательского центра:
344000, г.Ростов-на-Дону, пл.Гагарина, 1,
тел. 2-738-741, 2-738-322.

http://www.donstu.ru/vestnik
http://www.dstu.edu.ru/vestnik

Регистрационное свидетельство ПИ № ФС 77-35012 от 16.01.09

СОДЕРЖАНИЕ

VESTNIK

DON STATE TECHNICAL UNIVERSITY 2010

V.10 №4(47)

Theoretical and scientific-practical journal

Recommended by the State Commission for Academic Degrees and Titles for publications of the thesis research results for Doctor's and Candidate Degree competition (the solution of the Presidium of the State Commission for Academic Degrees and Titles of the Russian Science Ministry, February 19, 2010, №6/6

Founded in 1999

Founder – **Don State Technical University**

The issue is prepared by: .S.G. Magakova, E.V. Kheigetyan

Passed for printing 17.09.2010.
Format 6084/8. Font «Tahoma». Offset printing.
C.p.sh. 19,6. Circulation 1000 cop. Order 467. Free price.

Editorial Board's address:
Gagarin Sq. 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia
Phone: (863) 273-87-47.

Publishing Centre's address:
Gagarin Sq. 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia
Phones: (863) 273-87-41, 273-83-22.
http://www.donstu.ru/vestnik
http://www.dstu.edu.ru/vestnik

Registration certificate ПИ №ФС 77-35012 of 16.01.09.

CONTENT

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 539.3

Д.А. ПОЖАРСКИЙ, А.А. МОЛЧАНОВ

АСИМПТОТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ СМЕШАННЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ УПРУГОЙ ПОЛОСЫ И КЛИНА

Получены асимптотические решения двух новых задач теории упругости со смешанными граничными условиями. Первая задача – о трещине сдвига в полосе при разных вариантах граничных условий на внешних гранях полосы. Вторая – контактная задача для трехмерного клина при действии сосредоточенной силы вне области контакта на ребре клина и скользящей заделке другой грани.
Ключевые слова: *теория упругости, смешанные граничные условия, асимптотики.*

Введение. Актуальность задач механики разрушения [1] не вызывает сомнений. Однако до сих пор были исследованы только задачи о трещине нормального отрыва в упругой полосе [2]. В настоящей работе строится асимптотическое решение задачи о трещине продольного сдвига в полосе. Задачи о трещинах тесно связаны с контактными задачами (в обоих типах задач возникают смешанные граничные условия) [3–5]. Реальная поверхность часто имеет микронеровности, поэтому контакт может происходить одновременно на нескольких участках. Для изучения дискретного контакта (взаимодействия нескольких штампов) важно заранее получить решение задачи о действии дополнительной сосредоточенной силы вне области контакта упругого клина [4, 5].

1. Трещина сдвига в полосе. Постановка задачи. В декартовых координатах x, y рассмотрим упругую полосу $\{x\in(-\infty,\infty);\ y\in[0,2h]\}$ толщины $2h$. Предполагаем, что в рамках линейной теории упругости материал полосы характеризуется двумя параметрами упругости: G – модуль сдвига и ν – коэффициент Пуассона). Пусть обе грани полосы $y=0$, $y=2h$ жестко заделаны (вариант А), находятся в условиях скользящей заделки (вариант Б) или свободны от напряжений (вариант В). В середине полосы при $y=h$ имеется трещина продольного сдвига (разрез), занимающая область $x\in(-a,a)$, нагруженная по обоим берегам заданной касательной нагрузкой $\tau(x)$. Полагаем, что нормальное напряжение $\sigma y=0$ при $x\in(-\infty,\infty)$, $y=h$ [1]. Требуется определить скачок касательного перемещения в области трещины $u(x)=\pm u_x(x,h\pm0)$. Затем может быть определен коэффициент интенсивности касательного напряжения в кончике трещины, ответственный (согласно критерию разрушения) за ее дальнейшее распространение.

Асимптотическое решение. В силу одинаковости напряженно-деформированного состояния достаточно рассматривать лишь половину полосы $0\le y\le h$. Для вывода интегрального уравнения относительно функции $u(x)$ рассмотрим вспомогательные краевые задачи с граничными условиями вида

$$y=0:\quad \text{А)}\ u_x=0,\ \ u_y=0; \tag{1}$$

$$y=0:\quad \text{Б)}\ \tau_{xy}=0,\ \ u_y=0; \tag{2}$$

$$y=0:\quad \text{В)}\ \tau_{xy}=0,\ \ \sigma_y=0; \tag{3}$$

$$y=h:\quad \sigma_y=0;\ \ u_x=-u(x). \tag{4}$$

Здесь $u(x)$ – временно известная функция, равная нулю при $x\notin(-a,a)$. Для решения краевых задач (1)–(4) воспользуемся общим решением дифференциальных уравнений равновесия Ламе плоской задачи теории упругости в форме Папковича–Нейбера и преобразованием Фурье. Затем для получения интегрального уравнения в области трещины используем граничное условие (с заданной правой частью)

$$\tau_{xy}(x,h)=-\tau(x), \tag{5}$$

при помощи которого относительно функции $u(x)$ выводим интегральное уравнение (для простоты ограничимся случаем $\tau(x)=\tau=\text{const}$):

$$\theta\int_{-a}^{a}u(\xi)k\left(\frac{\xi-x}{h}\right)d\xi=\pi h^2\tau \quad (|x|\le a); \tag{6}$$

$$k(s)=\int_0^\infty tL(t)\cos ts\,dt, \quad \theta=\frac{G}{1-\nu}; \tag{7}$$

где для варианта А

$$L(t)=\frac{\kappa\,\text{ch}2t+2t^2+0{,}5(1+\kappa^2)}{\kappa\,\text{sh}2t+2t}; \tag{8}$$

а для вариантов Б и В соответственно

$$L(t)=\frac{\text{sh}2t+2t}{\text{ch}2t+1}; \qquad L(t)=\frac{2(\text{sh}^2t-t^2)}{\text{sh}2t-2t}. \tag{9}$$

Решение уравнения (6) подчиним условиям

$$u(\pm a)=0. \tag{10}$$

Отметим сходство уравнения (6) с уравнением (8.2) [2] для задачи о трещине нормального отрыва в полосе. Это позволяет применить для решения уравнения (6) регулярный асимптотический метод эффективный для относительно толстой полосы [2]. Интегрируя по частям в (6) при учете (10) и вводя безразмерные величины

$$x^*=\frac{x}{a};\ \ \mu=\frac{h}{a};\ \ f(x^*)=\frac{d}{dx}u(x);\ \ \tau^*=\frac{\tau}{\theta}; \tag{11}$$

получим уравнение (звездочки далее опускаем)

$$\int_{-1}^{1}f(\xi)k_0\left(\frac{\xi-x}{\mu}\right)d\xi=-\pi\mu\tau \quad (|x|\le 1); \tag{12}$$

$$k_0(s)=\int_0^\infty L(t)\sin ts\,dt. \tag{13}$$

Выделим из ядра (12) главную часть в форме

$$k_0(s)=\frac{1}{s}+H(s); \qquad H(s)=\int_0^\infty[L(t)-1]\sin ts\,dt. \tag{14}$$

Гладкая часть ядра $H(s)$ при $|s|<2$ разложима в абсолютно сходящийся ряд

$$H(s)=\sum_{n=0}^{\infty}e_n s^{2n+1}; \tag{15}$$

$$e_n=\frac{(-1)^n}{(2n+1)!}\int_0^\infty[L(t)-1]t^{2n+1}\,dt \quad (n=0,1,2,\ldots). \tag{16}$$

Несколько первых значений постоянных (16) для вариантов А, Б и В даны в табл.1 (при $\nu=0{,}3$).

Таблица 1

Значения постоянных (16)

Задача	e_0	e_1	e_2	e_3
А	0,9429	–0,5435	0,2930	–0,1301
Б	0,4112	–0,3551	0,1540	–0,05448
В	–1,3337	0,9667	–0,5153	0,2286

Регулярное асимптотическое решение уравнения (12) имеет вид [2]

$$f(x) = -\frac{\tau x}{\sqrt{1-x^2}}\Phi(x,\mu); \tag{17}$$

$$\Phi(x,\mu) = 1 - \frac{e_0}{2\mu^2} + \left(\frac{e_0^2}{4} + \frac{3e_1}{8} - \frac{3e_1}{2}x^2\right)\frac{1}{\mu^4} +$$

$$+\left[-\frac{e_0^3}{8} + \frac{3e_0e_1}{16} + \frac{15e_2}{8} + \left(\frac{3e_0e_1}{4} - \frac{5e_2}{2}\right)x^2 - \frac{5e_2}{2}x^4\right]\frac{1}{\mu^6} + O\left(\frac{1}{\mu^8}\right). \tag{18}$$

Из (17), (18) найдем отнесенное к a касательное раскрытие трещины:

$$\frac{u(x)}{a} = \int_{-1}^{x} f(x)dx = \tau\sqrt{1-x^2}\left\{1 - \frac{e_0}{2\mu^2} + \left(\frac{e_0^2}{4} - \frac{5e_1}{8} - \frac{e_1}{2}x^2\right)\frac{1}{\mu^4} +\right.$$

$$\left.+\left[-\frac{e_0^3}{8} + \frac{11e_0e_1}{16} - \frac{65e_2}{72} + \left(\frac{e_0e_1}{4} - \frac{25e_2}{18}\right)x^2 - \frac{5e_2}{12}x^4\right]\frac{1}{\mu^6} + O\left(\frac{1}{\mu^8}\right)\right\}. \tag{19}$$

Размерный коэффициент интенсивности касательных напряжений (КИН) в кончике трещины, отвечающий за дальнейшее распространение трещины, имеет вид (величина x – размерная)

$$K_{II} = -\lim_{x \to a-0} \theta\sqrt{2\pi(a-x)}\frac{d}{dx}u(x). \tag{20}$$

Безразмерный КИН на основании (19), (20) имеет вид (величина τ – размерная)

$$\frac{K_{II}}{\tau\sqrt{a\pi}} = 1 - \frac{e_0}{2\mu^2} + \left(\frac{e_0^2}{4} - \frac{9e_1}{8}\right)\frac{1}{\mu^4} + \left[-\frac{e_0^3}{8} + \frac{15e_0e_1}{16} - \frac{25e_2}{8}\right]\frac{1}{\mu^6} + O\left(\frac{1}{\mu^8}\right). \tag{21}$$

Отсюда, используя табл.1, получим для варианта:

– А
$$\frac{K_{II}}{\tau\sqrt{a\pi}} = 1 - \frac{0{,}4715}{\mu^2} + \frac{0{,}8337}{\mu^4} - \frac{1{,}5009}{\mu^6} + O\left(\frac{1}{\mu^8}\right); \tag{22}$$

– Б
$$\frac{K_{II}}{\tau\sqrt{a\pi}} = 1 - \frac{0{,}2056}{\mu^2} + \frac{0{,}4418}{\mu^4} - \frac{0{,}6269}{\mu^6} + O\left(\frac{1}{\mu^8}\right); \tag{23}$$

– В
$$\frac{K_{II}}{\tau\sqrt{a\pi}} = 1 + \frac{0{,}6669}{\mu^2} - \frac{0{,}6428}{\mu^4} + \frac{0{,}6982}{\mu^6} + O\left(\frac{1}{\mu^8}\right). \tag{24}$$

Формулы (22)–(24) рекомендуется использовать при $\mu \geq 2$. При малых значениях μ можно использовать сингулярный асимптотический метод [2].

2. Контактная задача для клина. Постановка задачи. В цилиндрических координатах r, φ, z рассмотрим трехмерный упругий клин $\{r\in [0,\infty], \varphi\in [0,\alpha], z\in (-\infty,\infty)\}$ угла раствора α, ось z направлена по ребру клина. Материал клина характеризуется модулем сдвига и коэффициентом Пуассона. Грань $\varphi = 0$ находится в условиях скользящей заделки. В грань $\varphi = \alpha$ без перекоса вдавливается эллиптический в плане штамп с плоским основанием, к которому приложена сила P. Область контакта – эллипс $\Omega = \{(r-a)^2/c^2+z/b^2\}$, $b\geq c$, $a>c$. В начале координат $r = z = 0$ к грани $\varphi = \alpha$ приложена нормальная сосредоточенная сила Q. Для простоты считаем задачу симметричной по координате z. Осадка штампа равна δ. При заданных величинах α, G, ν, a, b, c и δ требуется определить контактное давление под штампом $\sigma_\varphi = -q(r,z)$, $(r,z)\in \Omega$ и затем найти силу P.

Асимптотическое решение. Сила Q вызывает в заданной области контакта Ω дополнительное нормальное перемещение [3]

$$u_\varphi(r,\alpha,z) = -\frac{QA_0(r,z)}{2\pi\theta\sqrt{r^2+z^2}};\ \theta = \frac{G}{1-\nu}; \tag{25}$$

$$A_0(r,z) = A + \frac{4}{\pi}\int_0^\infty \operatorname{th}\frac{\pi u}{2} W(u)F(u)\cos\left(u \ln\frac{\sqrt{r^2+z^2}+|z|}{r}\right)du; \tag{26}$$

$$A = \pi\frac{1-\cos 2\alpha}{2\alpha+\sin 2\alpha}, \quad W(u) = \frac{\operatorname{ch}2\alpha u - \cos 2\alpha}{\operatorname{sh}2\alpha u + u\sin 2\alpha}. \tag{27}$$

Функция $F(u)$ удовлетворяет интегральному уравнению Фредгольма второго рода ($0 \le u < \infty$)

$$F(u) - (1-2\nu)\int_0^\infty L(u,y)F(y)dy = \pi/2\,(1-2\nu)L(u,0); \tag{28}$$

$$L(u,y) = 2\operatorname{ch}\frac{\pi u}{2}\operatorname{sh}\frac{\pi y}{2}W(y)\int_0^\infty \frac{\operatorname{sh}\pi t\, g(t)dt}{(\operatorname{ch}\pi t + \operatorname{ch}\pi u)(\operatorname{ch}\pi t + \operatorname{ch}\pi y)}; \tag{29}$$

$$L(u,0) = A\operatorname{ch}\frac{\pi u}{2}\int_0^\infty \frac{\operatorname{th}(\pi t/2)\, g(t)dt}{\operatorname{ch}\pi t + \operatorname{ch}\pi u}, \qquad g(t) = \frac{\operatorname{cth}\alpha t \sin^2 2\alpha}{\operatorname{ch}2\alpha t - \cos 4\alpha}. \tag{30}$$

В частном случае $\alpha=\pi/2$ на основании формул (25) – (30) получим

$$u_\varphi(r,\pi/2,z) = -\frac{Q}{\pi\theta\sqrt{r^2+z^2}}, \tag{31}$$

что соответствует двум одинаковым силам на упругом полупространстве [3].

Используя (25) и известную функцию Грина для трехмерного клина [3], получим относительно $q(r,z)$ следующее интегральное уравнение:

$$\frac{1}{\theta}\int_\Omega q(x,y)K(x,y,r,z)dxdy = 2\pi\left(\delta - \frac{QA_0(r,z)}{2\pi\theta\sqrt{r^2+z^2}}\right); \quad (r,z)\in\Omega; \tag{32}$$

$$K(x,y,r,z) = \frac{1}{R} + F(x,y,r,z); \quad R = [(r-x)^2 + (z-y)^2]^{1/2}; \tag{33}$$

$$F(x,y,r,z) = \frac{4}{\pi^2}\int_0^\infty\int_0^\infty \{\operatorname{sh}\pi u(W(u) - \operatorname{cth}\pi u)K_{iu}(\beta x) +$$

$$+ 2\operatorname{sh}\frac{\pi u}{2}W(u)F(u,\beta x)\}K_{iu}(\beta r)\cos\beta(z-y)d\beta du. \tag{34}$$

Здесь $K_{iu}(r)$ – функция Бесселя, а функция $F(u,\beta x)$ удовлетворяет интегральному уравнению Фредгольма второго рода ($0 \le u < \infty$)

$$F(u,\beta x) = (1-2\nu)\int_0^\infty L(u,y)[F(y,\beta x) + \operatorname{ch}\frac{\pi y}{2}K_{iy}(\beta x)]dy. \tag{35}$$

Отметим, что перемещение (25) получается из ядра интегрального уравнения (32) при $x \to 0$, $y = 0$ (с точностью до множителя). При $\alpha=\pi/2$ ядро интегрального уравнения (32) совпадает с ядром интегрального уравнения симметричной контактной задачи о двух штампах на полупространстве.

Для получения асимптотического решения введем безразмерные величины (штрихи далее опускаем)

$$r' = \frac{r-a}{b},\ z' = \frac{z}{b},\ \lambda = \frac{a}{b},\ \varepsilon = \frac{c}{b},\ \delta' = \frac{\delta}{b},\ R' = \frac{R}{b},\ \beta' = \beta b; \tag{36}$$

$$q'(r',z') = q(r,z)/\theta,\ Q' = Q/(2\pi\theta b^2),\ P' = P/(\theta b^2),\ \Omega' \leftrightarrow \Omega. \tag{37}$$

Уравнение (32) в обозначениях (36), (37) принимает вид ($(r,z)\in\Omega$)

$$\int\limits_{\Omega} q(x,y)\left[\frac{1}{R}+F(x+\lambda,y,r+\lambda,z)\right]dxdy=2\pi\left(\delta-\frac{QA_0(r+\lambda,z)}{\sqrt{(r+\lambda)^2+z^2}}\right). \quad (38)$$

Для решения интегрального уравнения (38) применим регулярный асимптотический метод [3], эффективный при больших значениях параметра λ, т.е. вдали от ребра клина.

С использованием известных интегралов разложим гладкую часть ядра уравнения (38) в ряд по отрицательным степеням λ. Имеем $(\lambda\to\infty)$

$$F(x+\lambda,y,r+\lambda,z)=\frac{A_1}{\lambda}+\frac{A_2(x+r)}{\lambda^2}+\frac{A_3(x^2+r^2)+A_4(y-z)^2+A_5xr}{\lambda^3}+O\left(\frac{1}{\lambda^4}\right); \quad (39)$$

$$A_1=a_0+\kappa_0,\quad A_2=-\frac{A_1}{2},\quad A_3=\frac{3}{8}a_0+\frac{a_1+\kappa_0}{2}-\kappa_1, \quad (40)$$

$$A_4=\frac{a_1}{2}-\kappa_2,\quad A_5=\frac{a_0}{4}-a_1+2\kappa_1, \quad (41)$$

где $(n=0{,}1,\ m=0{,}1{,}2)$:

$$a_n=\frac{(-1)^n}{2^n}\int\limits_0^\infty[\mathrm{th}\pi uW(u)-1](0{,}25+u^2)^n du; \quad (42)$$

$$\kappa_m=2\int\limits_0^\infty \mathrm{sh}\frac{\pi u}{2}W(u)F_m(u)du. \quad (43)$$

Значения функций $F_m(u_k)$, где u_k – узел квадратурной формулы Гаусса, определяются как значения при $u=u_k$ функций, удовлетворяющих интегральным уравнениям Фредгольма второго рода $(0\le u\le\infty)$

$$F_m(u)=(1-2\nu)\int\limits_0^\infty L(u,y)\left[F_m(y)+\frac{\mathrm{ch}(\pi y/2)L_m(u_k,y)}{8(\mathrm{ch}\pi u+\mathrm{ch}\pi y)}\right]dy; \quad (44)$$

$$L_0(u,y)=16,\quad L_2(u,y)=(1+(u+y)^2)(1+(u-y)^2); \quad (45)$$

$$L_1(u,y)=(3-(u+y)^2)(1+(u-y)^2)+(3-(u-y)^2)(1+(u+y)^2). \quad (46)$$

Аналогично разложим функцию в правой части уравнения (32). С учетом того, что $(\lambda\to\infty)$

$$\frac{1}{\sqrt{(r+\lambda)^2+z^2}}=\frac{1}{\lambda}-\frac{r}{\lambda^2}+\frac{2r^2-z^2}{2\lambda^3}+O\left(\frac{1}{\lambda^4}\right); \quad (47)$$

$$\cos\left(u\ln\frac{\sqrt{(r+\lambda)^2+z^2}+|z|}{r+\lambda}\right)=1-\frac{u^2z^2}{2\lambda^2}\left(1-\frac{2r}{\lambda}\right)+O\left(\frac{1}{\lambda^4}\right); \quad (48)$$

получим разложение $(\lambda\to\infty)$:

$$\frac{A_0(r+\lambda,z)}{\sqrt{(r+\lambda)^2+z^2}}=\frac{B_1}{\lambda}+\frac{B_2r}{\lambda^2}+\frac{B_3r^2+B_4z^2}{\lambda^3}+O\left(\frac{1}{\lambda^4}\right); \quad (49)$$

$$B_1=-B_2=B_3=A+b_0,\quad B_4=-\frac{A+b_0+b_1}{2}; \quad (50)$$

$$b_n=\frac{4}{\pi}\int\limits_0^\infty \mathrm{th}\frac{\pi u}{2}W(u)F(u)\,u^{2n}du\quad (n=0{,}1). \quad (51)$$

Здесь постоянная *A* определяется формулой (27), а функция $F(u)$ удовлетворяет интегральному уравнению Фредгольма (28).

Разложения (39) и (49), если их продолжить, равномерно сходятся в области $(x,y),(r,z)\in\Omega$ при $\lambda > \max(\alpha^{-1},1+\varepsilon)$.

В табл.2 приводятся значения независимых коэффициентов, входящих в разложения (39) и (49), рассчитанные при $\nu = 0{,}3$ и $\alpha = \pi k/6$.

Таблица 2

Значения независимых постоянных (40), (41), (50)

k	2	3	4	5	6	7	8
$-A_1$	–0,2867	–0,5000	–0,2701	0,1732	0,3183	0,2467	0,1502
$-A_3$	–0,1400	–0,1250	–0,06667	0,05354	0,09284	0,07298	0,04440
A_4	–0,007466	–0,06250	–0,04353	0,007344	0,02653	0,01766	0,01036
$-A_5$	–0,006701	–0,2500	–0,1367	0,06615	0,1326	0,1008	0,06138
B_1	1,843	2,000	1,494	0,3694	0	0,1944	0,5160
$-B_4$	1,096	1,000	0,7944	0,1925	0	0,09939	0,2625

При учете (39) и (49) асимптотическое решение уравнения (32) при больших значениях λ ищем в виде

$$q(x,y)=\sum_{n=0}^{3}\frac{q_n(x,y)}{\lambda^n}+O\left(\frac{1}{\lambda^4}\right)\quad(\lambda\to\infty). \tag{52}$$

Приходим к цепочке интегральных уравнений с ядром R^{-1} для последовательного определения функций из разложения (52). Каждое из уравнений этой цепочки решается в явном виде. В результате получим

$$q_0(x,y)=\frac{\delta}{\varepsilon K s(x,y)},\quad q_1(x,y)=\frac{-Q_1}{\varepsilon K s(x,y)},\quad s(x,y)=\sqrt{1-\frac{x^2}{\varepsilon^2}-y^2}\,; \tag{53}$$

$$Q_m=QB_m+\frac{\delta A_m}{K}\quad(m=1,2,3,4),\quad q_2(x,y)=\frac{1}{\varepsilon s(x,y)}\left(\frac{A_1Q_1}{K^2}-\frac{Q_2e^2x}{E-\varepsilon^2K}\right);$$

$$q_3(x,y)=\frac{1}{\varepsilon s(x,y)}\left\{\frac{1}{K}\left[-\frac{A_1^2Q_1}{K^2}-\frac{\delta(A_3\varepsilon^2+A_4)}{3K}+\frac{2}{\psi}(Q_4\psi_1+Q_3\varepsilon^2\psi_2)\right]+\right. \tag{54}$$

$$\left.+\frac{A_2Q_1e^2x}{K(E-\varepsilon^2K)}+\frac{4x^2}{\psi}(Q_4\psi_{01}-Q_3\psi_{00})+\frac{4y^2}{\psi}(Q_3\varepsilon^2\psi_{10}-Q_4\psi_{11})\right\},\quad e=\sqrt{1-\varepsilon^2}\,,$$

где $K=K(e)$, $E=E(e)$ – полные эллиптические интегралы;

$$\psi=-(1-e^2)K^2+2(2-e^2)KE-3E^2\,; \tag{55}$$

$$\psi_1=(1-e^2)(1{,}5-e^2)K^2-2(1-e^2)KE+0{,}5E^2\,; \tag{56}$$

$$\psi_2=(1{,}5-0{,}5e^2)K^2-2KE+0{,}5E^2,\quad \psi_{00}=K-(1+0{,}5e^2)E\,; \tag{57}$$

$$\psi_{01}=\psi_{10}=E-(1-0{,}5e^2)K,\quad \psi_{11}=(1-e^2)^2K-(1-1{,}5e^2)E\,. \tag{58}$$

Для вдавливающей штамп силы получим выражение

$$P=\int_\Omega q(x,y)dxdy=2\pi\sum_{n=0}^{3}\frac{P_n}{\lambda^n}+O\left(\frac{1}{\lambda^4}\right)\quad(\lambda\to\infty)\,; \tag{59}$$

$$P_0(x,y)=\frac{\delta}{K},\quad P_1=-\frac{Q_1}{K},\quad P_2=\frac{A_1Q_1}{K^2}\,; \tag{60}$$

$$P_3 = \frac{1}{K}\left\{-\frac{A_1^2 Q_1}{K^2} - \frac{\delta(A_3\varepsilon^2 + A_4)}{3K} + \frac{2}{\psi}(Q_4\psi_1 + Q_3\varepsilon^2\psi_2)\right\} +$$

$$+\frac{4}{3\psi}[\varepsilon^2(Q_4\psi_{01} - Q_3\psi_{00}) + Q_3\varepsilon^2\psi_{10} - Q_4\psi_{11})]\,. \quad (61)$$

Расчеты по формулам (52)–(61) показывают, что при возрастании дополнительной силы Q, приложенной вне штампа, снижается как контактное давление, так и сила, вдавливающая штамп. При возрастании значения λ (область контакта отдаляется от ребра) контактное давление и вдавливающая сила стремятся к известным значениям [3].

Выводы. Полученные формулы (22)–(24) для коэффициента интенсивности касательных напряжений в кончике трещины важны для анализа возможности дальнейшего распространения трещины. Этот анализ показывает, что трещина будет наименее опасна для граничных условий варианта А (жесткая заделка граней полосы) и наиболее опасна для варианта В (свободные грани полосы). Решение задачи о действии сосредоточенной силы вне области контакта на грани клина может быть использовано в дальнейшем для сведения контактной задачи о взаимодействии нескольких штампов на грани клина к системе интегральных уравнений Фредгольма второго рода (метод Андрейкива – Панасюка) [5].

Работа для клина поддержана грантами РФФИ 08-01-00003, 09-01-00004.

Библиографический список

1. Качанов Л.М. Основы механики разрушения / Л.М. Качанов. – М.: Наука, 1974. – 312 с.

2. Александров В.М. Тонкие концентраторы напряжений в упругих телах / В.М. Александров, Б.И. Сметанин, Б.В. Соболь. – М.: Наука, 1993. – 224 с.

3. Александров В.М. Неклассические пространственные задачи механики контактных взаимодействий упругих тел / В.М. Александров, Д.А. Пожарский. – М.: Факториал, 1998. – 288 с.

4. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости / Л.А. Галин. – М.: Наука, 1980. – 304 с.

5. Аргатов И.И. Основы теории упругого дискретного контакта / И.И. Аргатов, Н.Н. Дмитриев. – СПб.: Политехника, 2003. – 233 с.

References

1. Kachanov L.M. Osnovy mehaniki razrusheniya / L.M. Kachanov. – M.: Nauka, 1974. – 312 s. - in Russian.

2. Aleksandrov V.M. Tonkie koncentratory napryajenii v uprugih telah / V.M. Aleksandrov, B.I. Smetanin, B.V. Sobol'. – M.: Nauka, 1993. – 224 s. – in Russian.

3. Aleksandrov V.M. Neklassicheskie prostranstvennye zadachi mehaniki kontaktnyh vzaimdeistvii uprugih tel / V.M. Aleksandrov, D.A. Pojarskii. – M.: Faktorial, 1998. – 288 s. – in Russian.

4. Galin L.A. Kontaktnye zadachi teorii uprugosti i vyazkouprugosti / L.A. Galin. – M.: Nauka, 1980. – 304 s. – in Russian.

5. Argatov I.I. Osnovy teorii uprugogo diskretnogo kontakta / I.I. Argatov, N.N. Dmitriev. – SPb.: Politehnika, 2003. – 233 s. – in Russian.

Материал поступил в редакцию 25.05.10.

D.A. POZHARSKIY, A.A. MOLCHANOV

ASYMPTOTIC SOLUTIONS OF MIXED PROBLEMS FOR ELASTIC STRIP AND WEDGE

Asymptotic solutions for two new theory elasticity problems with mixed boundary conditions are derived. The first problem is about a shear crack in a strip for different types of boundary conditions on the outer strip faces. The second one is the contact problem for a three-dimensional wedge when a concentrated force is acting outside the contact domain on the wedge edge for sliding support on the other wedge face.

Key words: theory of elasticity, mixed boundary conditions, asymptotics.

ПОЖАРСКИЙ Дмитрий Александрович (р. 1964), зав. кафедрой «Прикладная математика» Донского государственного технического университета, доктор физико-математических наук (1998), профессор (2005). Окончил механико-математический факультет Московского государственного университета (1986).
Область научных интересов: теория упругости, контактные задачи, трещины, смешанные граничные условия.
Автор более 100 публикаций и 2 монографий.

pozharda@rambler.ru

МОЛЧАНОВ Александр Алексеевич (р. 1986), аспирант кафедры «Математика и механика» Института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета. Окончил факультет автоматики и робототехники Ростовской государственной академии сельскохозяйственного машиностроения (2008).
Область научных интересов: математическая физика, теория упругости, контактные задачи.
Автор более 30 публикаций.

aa_molchanov@mail.ru

Dmitry A. POZHARSKIY (1964), Head (2010) of the Applied Mathematics Department, Institute of Power Engineering and Machinery, Don State Technical University. Ph.D. in Physics and Maths (1998), professor (2005). He graduated from the Faculty of Mechanics and Mathematics, Moscow State University (1986).
Research interests: theory of elasticity, contact problems, cracks, mixed boundary conditions.
Author of more than 100 scientific publications and 2 monographs.

pozharda@rambler.ru

Alexander A. MOLCHANOV (1986), postgraduate student (2010) of the Mathematics and Mechanics Department, Institute of Power Engineering and Machinery, Don State Technical University.He graduated from the Faculty of Automatics and Robot-Technology, Rostov State Agricultural Engineering academy (2008).
Research interests: mathematical physics, theory of elasticity, contact problems.
Author of more than 30 scientific publications.

aa_molchanov@mail.ru

УДК 681.3.06: 621.372

А.В. КОЛОМЕЙЦЕВА, Г.В. МИШУГОВА, А.П. МУЛ, Г.Ю. РЯБЫХ

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И МЕТОДА ПРОНИ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ БИОГЕННЫХ СИГНАЛОВ

Рассмотрены нестационарные сигналы биогенного характера (кардиограмма, электроэнцефалограмма и др.). Применен анализ сигналов с использованием вейвлет-преобразования и метода Прони, которые в отличие от классического метода Фурье дают улучшенную спектральную оценку биогенных сигналов.
Ключевые слова: *дискретное косинус- и синус-преобразование, оконное преобразование Фурье, вейвлет-преобразование Добеши, метод Прони, тёплицевы структуры.*

Введение. Технологии цифровой обработки сигналов и их изображений находят все более широкое применение в различных областях, в частности при определении характеристик и идентификации биогенных сигналов.

Разработка алгоритма для анализа биогенного сигнала, однако, является непростой задачей; довольно часто это даже не целенаправленный процесс. Инженер или компьютерный аналитик часто бывает поражен изменчивостью и разнообразием признаков в биогенных сигналах и системах, где эти факторы проявляются в большей степени, чем в физических системах или наблюдениях. Учет всех возможностей и степеней свободы в биогенных системах является наиболее сложной проблемой для большинства применений. Методы, показавшие свою пригодность для работы с определенными системами или наборами сигналов, могут оказаться несостоятельными в других, на первый взгляд похожих, ситуациях.

Так, для получения правдивого результата биогенного сигнала следует иметь расслабленное и спокойное состояние при отсутствии движений. Кашель, напряжение мышц, движения глаз, конечностей вызывают соответствующие сигналы, играющие роль нежелательных артефактов. В результате рекомендацией при снятии сигнала служит задержка дыхания на несколько секунд. Но это предложение неприемлемо для пациентов в критическом состоянии или при проведении диагностики у младенцев.

В таких и других случаях для удаления артефактов используются методы цифровой обработки сигналов.

Обработка сигналов, связанная с анализом их спектров, называется спектральным анализом. Спектральный анализ используется при распознавании, обнаружении и сжатии сигналов. В основе спектрального анализа сигналов лежит интегральное преобразование и ряды Фурье.

Идентификация особенностей биогенных сигналов – весьма важный этап, так как допущенные ошибки сказываются на правильности врачебного заключения [1].

Постановка задачи. Исследовать методы идентификации для устранения артефактов, способных искажать биогенные сигналы, без ухудшения качества исследуемых сигналов. Применить хорошо разработанные методы Фурье с помощью дискретного преобразования Фурье (ДПФ), используя алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ). Применить вейвлет-преобразование и метод Прони для анализа и параметризации нестационарных сигналов. Провести оценку погрешности и сравнительный анализ полученных результатов.

Методы обработки нестационарных сигналов. Большинство биогенных сигналов имеет сложные частотно-временные характеристики. На рис.1 представлен нестационарный кардиосигнал биогенного характера, на примере которого рассматривается идентификация сигналов. Как правило, такие сигналы состоят из близких по времени, короткоживущих высокочастотных и долговременных, близких по частоте низкочастотных компонент.

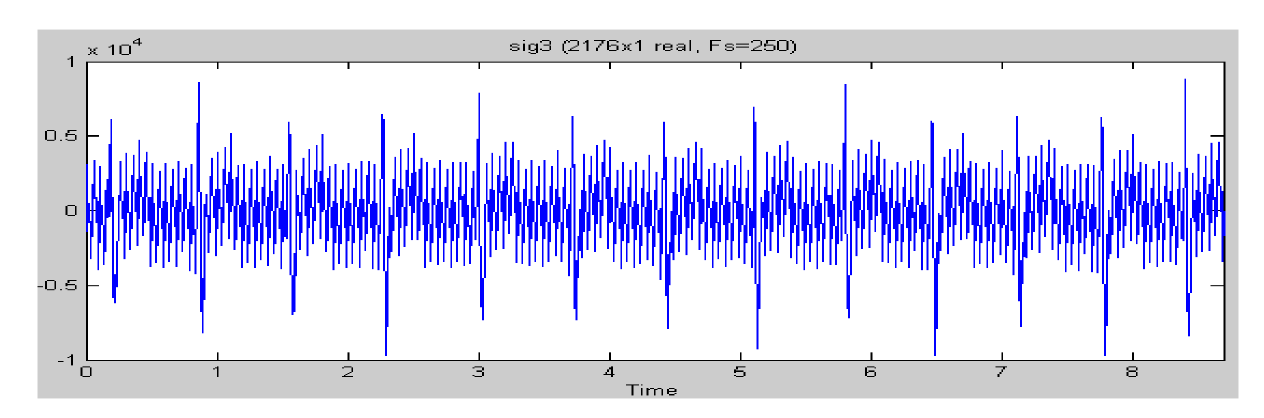


Рис.1. Кардиосигнал (ЭКГ), содержащий шумы

Для анализа таких сигналов нужен метод, способный обеспечить хорошее разрешение и по частоте, и по времени. Первое условие требуется для локализации низкочастотных составляющих, второе – для разрешения компонент высокой частоты.

Преобразование Фурье – сигнал, заданный во временной области, в виде разложения по ортогональным базисным функциям (синусам и косинусам), при этом выделяются частотные компоненты [2]. Недостаток преобразования Фурье заключается в том, что частотные компоненты не могут быть локализованы во времени, что накладывает ограничения на применимость данного метода к ряду задач (например, в случае изучения динамики изменения частотных параметров сигнала на временном интервале).

Вейвлеты представляют собой семейства математических функций определенной формы, которые локальны во времени и по частоте, и в которых все функции получаются из одной базовой (порождающей) посредством ее сдвигов и растяжений по оси времени. Вейвлетные функции базиса позволяют сконцентрировать внимание на тех или иных локальных особенностях анализируемых процессов, которые не могут быть выявлены с помощью традиционных преобразований Фурье.

Метод Прони – это метод анализа коротких отрезков сигнала, основанный на аппроксимации сигнала конечной суммой комплексных экспонент (рис. 2–3), т.е. на подгонке экспоненциальной модели к измеренным эквидистантным (равноотстоящим, равноудаленным) значениям и последующем вычислении дополнительных значений посредством оценки параметров этой экспоненциальной модели в промежуточных точках.

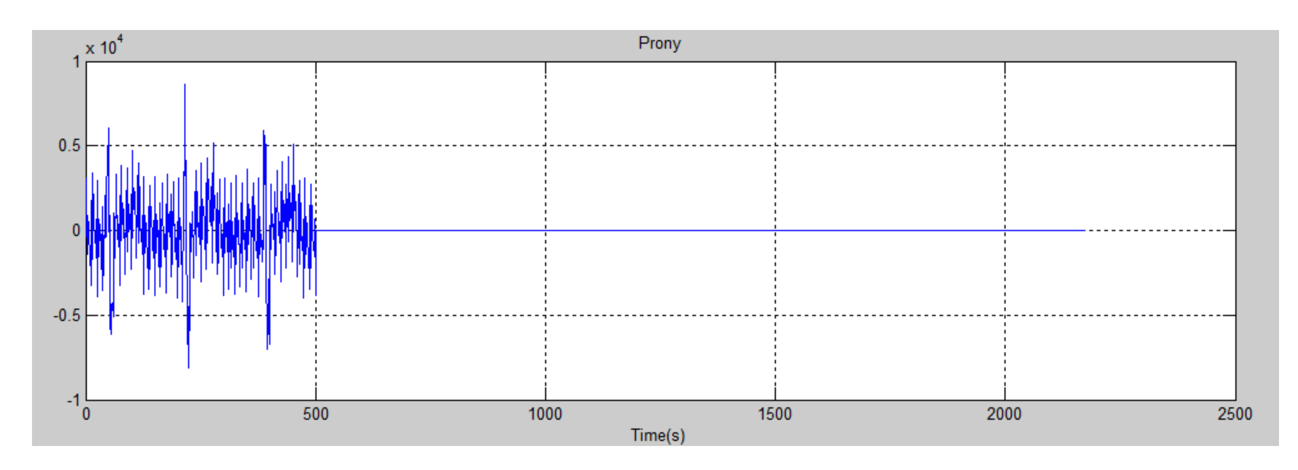


Рис. 2. Короткий отрезок кардиосигнала,
обработанный методом Прони (сумма комплексных экспонент)

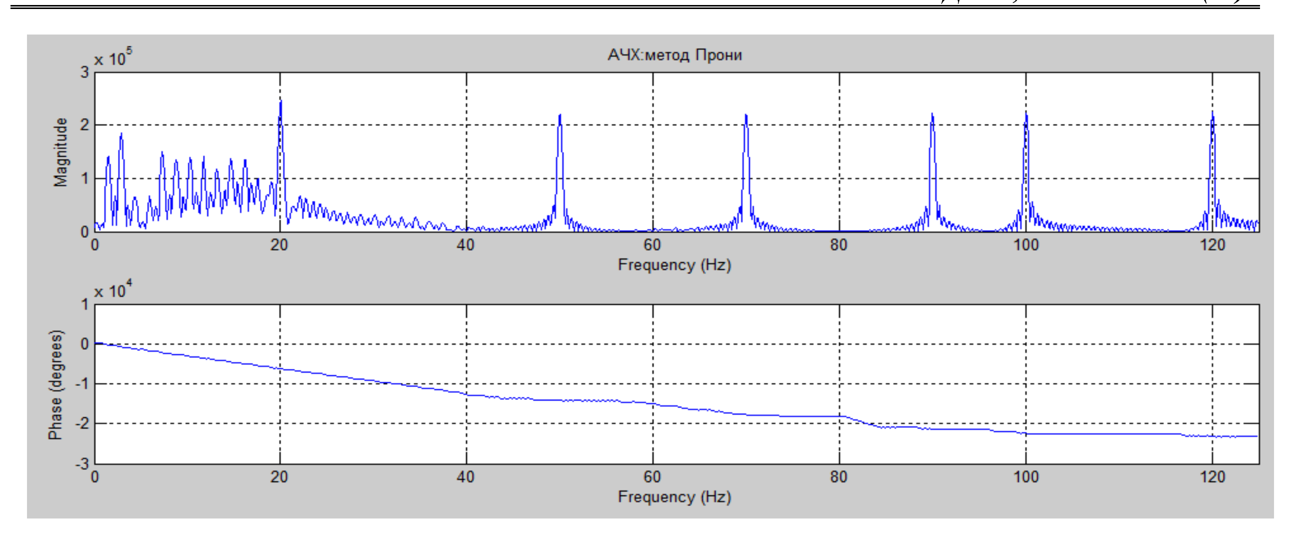


Рис. 3. Спектр короткого отрезка сигнала
и фаза после анализа методом Прони

Краткий обзор преобразования Фурье. Классическим методом частотного анализа сигналов является прямое преобразование Фурье:

$$\dot{S}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j\omega t} dt \,. \tag{1}$$

Обратное преобразование Фурье:

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}(\omega) e^{j\omega t} d\omega \,. \tag{2}$$

Результат преобразования Фурье – амплитудно-частотный спектр, по которому можно определить присутствие некоторой частоты в исследуемом сигнале (рис.4).

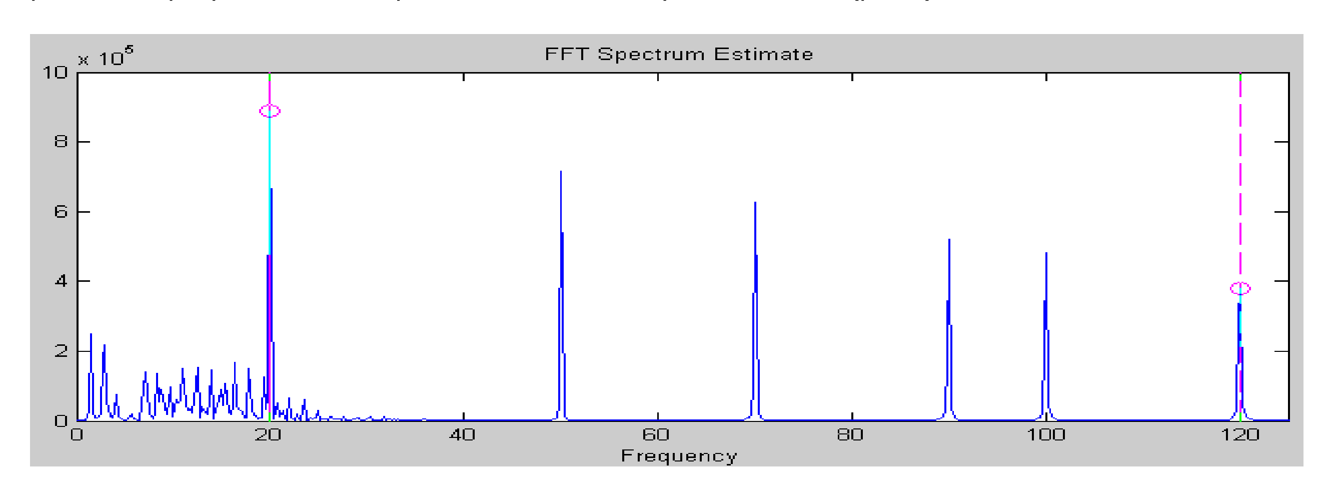


Рис. 4. Фурье-спектр сигнала

Преобразование Фурье имеет ряд недостатков:

– исходный сигнал заменяется на периодический с периодом, равным длительности исследуемого сигнала;

– со временем плохо работает при изменении параметров процесса (нестационарности), поскольку дает усредненные коэффициенты для всего исследуемого образца;

– не дает представления о динамике изменения спектрального состава сигнала.

Рассмотрим три подхода к анализу нестационарных сигналов биогенного происхождения – метод оконного преобразования Фурье, метод вейвлет-преобразования и метод Прони.

Оконное преобразования Фурье. Классическое преобразование Фурье связано со спектром сигнала, взятым во всем диапазоне существования переменной. При анализе нестационарных сигналов интерес представляет только локальное распределение частот, в то время как требуется сохранить изначальную переменную (обычно время). В этом случае используется оконное преобразование Фурье, представляющее собой сегментирование сигнала на фрагменты («окна»). Для начала необходимо выбрать некоторую оконную функцию:

$$F(t,\omega)= 1\Big/\sqrt{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} f(\tau)W(\tau-t)e^{i\omega\tau}d\tau\,, \qquad (3)$$

где $F(t,\omega)$ – распределение частот (несколько искаженное) части оригинального сигнала $f(t)$ в окрестности времени t.

Недостатки оконного преобразования Фурье. Когда нестационарный сигнал имеет высокочастотные компоненты в течение короткого промежутка времени и низкочастотные колебания при рассмотрении больших временных масштабов, оконные преобразования позволяют проанализировать либо высокие частоты в коротком окне времени, либо низкочастотную компоненту, но не оба колебания одновременно (рис.5).

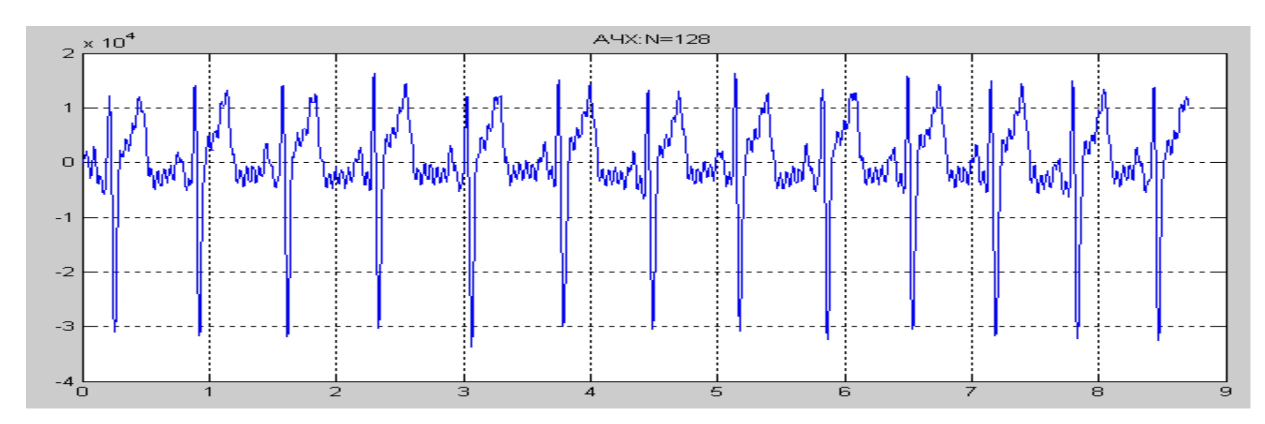


Рис.5. Кардиосигнал после обработки методом Фурье

В результате был разработан подход, при котором для различных диапазонов частот использовались временные окна различной длительности. Оконные функции получались после растяжения-сжатия и смещения по времени гауссиана. Эти базисные вейвлет-функции называются компактными волнами.

Функция $\psi(t)$ может называться вейвлетом, если она удовлетворяет следующим свойствам:

– область определения функции – вся числовая ось;

– интеграл от функции $\psi(t)$ по области определения равен нулю;

– функция $\psi(t)$ быстро убывает при $t\to\pm\infty$.

На рис.6 изображены примеры простейших базисных функций, посредством которых могут быть представлены произвольные колебания. Вейвлет-разложение по ним проводится путем вычисления сверток сигнала f с компактной волной ψ при различных масштабах и сдвигах аргумента.

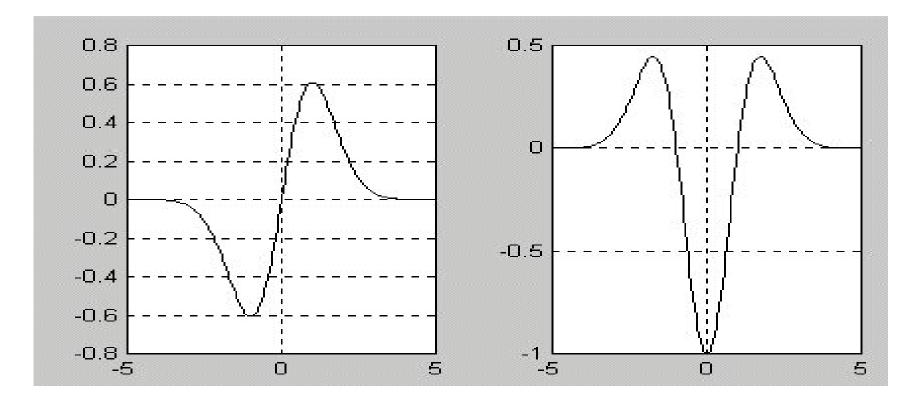


Рис.6. Компактные волны, полученные дифференцированием функции Гаусса

Рассмотрим свертку произвольного сигнала *f (t)* с функцией:

$$w(\tau, a) = 1/a \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi(t - \tau/a)dt, \tag{4}$$

где τ – дрейфовая переменная; a – масштабная переменная.

Результатом свертки является функция, определенная в частотно-временной области, в отличие от преобразования Фурье, которое определено только в частотной области. Таким образом, вейвлет-преобразование позволяет судить не только о частотном спектре сигнала, но также о том, в какой момент времени появилась та или иная гармоника.

Параметр *1/a* – частотная характеристика сигнала, подвергшегося вейвлет-преобразованию, привязана к «временной точке» – τ. Это означает, что с помощью вейвлет-анализа мы можем изучать сигналы, частотные характеристики которых локально зависят от времени. Фурье-анализ такой возможности не дает.

Как и Фурье, вейвлет-преобразование имеет обратное преобразование, которое записывается формулой:

$$f(x) = g\int_{-\infty}^{\infty}\int_{0}^{\infty} \psi(x - t/a)\, w(t, a)\, da/a^2\, dt, \tag{5}$$

где g – некоторая константа [5].

Вейвлет-преобразование Добеши (рис.7).

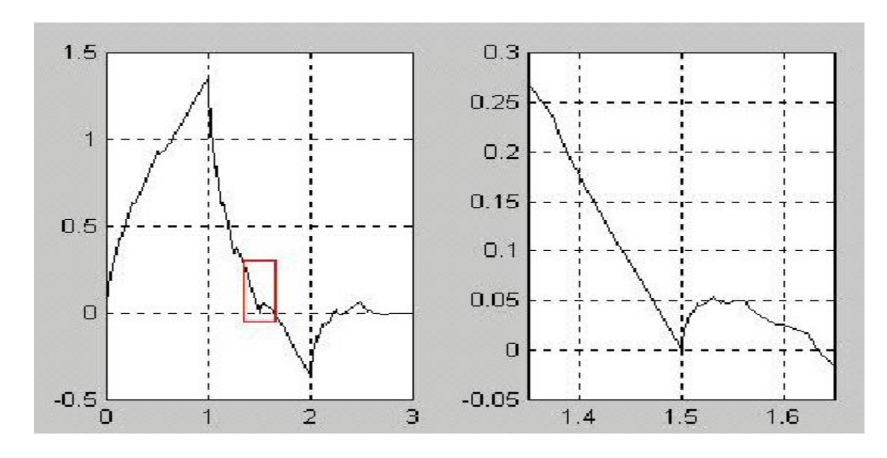


Рис.7. Структура вейвлета Добеши

$$\begin{pmatrix} C_0 & C_1 & C_2 & C_3 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ C_3 & -C_2 & C_1 & -C_0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & C_0 & C_1 & C_2 & C_3 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & C_3 & -C_2 & C_1 & -C_0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \ldots & \ldots & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & C_0 & C_1 & C_2 & C_3 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & C_3 & -C_2 & C_1 & -C_0 \\ C_2 & C_3 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & C_0 & C_1 \\ C_1 & -C_0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & C_3 & -C_2 \end{pmatrix}$$

– матрица Добеши. Преобразование Добеши от некоторого вектора соответствует умножению его на матрицу.

Каждая строка матрицы соответствует свертке вектора сигнала с локализованным вейвлет-фильтром. При этом нечетные строки сглаживают, а соответствующие четные фильтры вычисляют поправки к сглаживанию, обеспечивая обратимость преобразования. Коэффициенты $C_0 \ldots C_3$ могут быть выбраны так, чтобы поправки обращались в нуль для гладких функций. За-

нуление свертки с постоянной и линейной функциями дает два условия на неизвестные коэффициенты:

$$C_3 - C_2 + C_1 - C_0 = 0$$

$$0C_3 - 1C_2 + 2C_1 - 3C_0 = 0.$$

Далее потребуем, чтобы преобразование было ортогональным – обратное преобразование получалось простым транспонированием. Из условия равенства произведения матриц прямого и обратного преобразования единичной матрице получаем еще два условия [4]:

$$C^2_0 + C^2_1 + C^2_2 + C^2_3 = 1 \quad \Rightarrow \quad C_0 = \left(1+\sqrt{3}\right)/4\sqrt{2} \qquad C_2 = \left(3-\sqrt{3}\right)/4\sqrt{2}$$

$$C_2C_0 + C_3C_1 = 0 \quad \text{Откуда} \quad C_1 = \left(3+\sqrt{3}\right)/4\sqrt{2} \qquad C_3 = \left(1-\sqrt{3}\right)/4\sqrt{2}.$$

Полное вейвлет-преобразование получается путем умножения вектора сигнала на полученную матрицу Добеши, далее нечетные компоненты сигнала (сглаженная версия сигнала) снова умножаются на матрицу Добеши (вдвое меньшей размерности), и так до тех пор, пока не будет получено полностью сглаженное представление, т.е. среднее значение сигнала (рис.8–9).

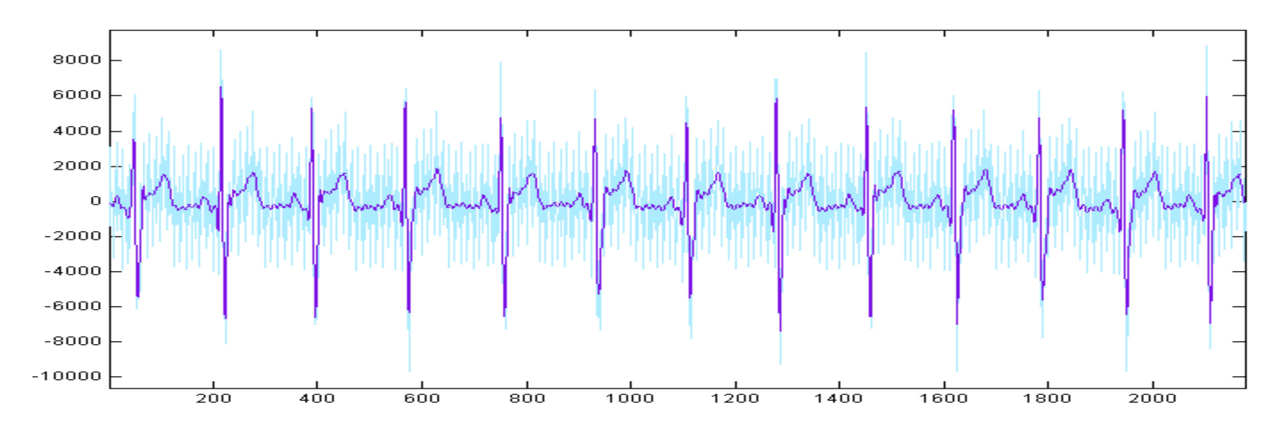


Рис.8. Кардиосигнал, обработанный вейвлет-методом

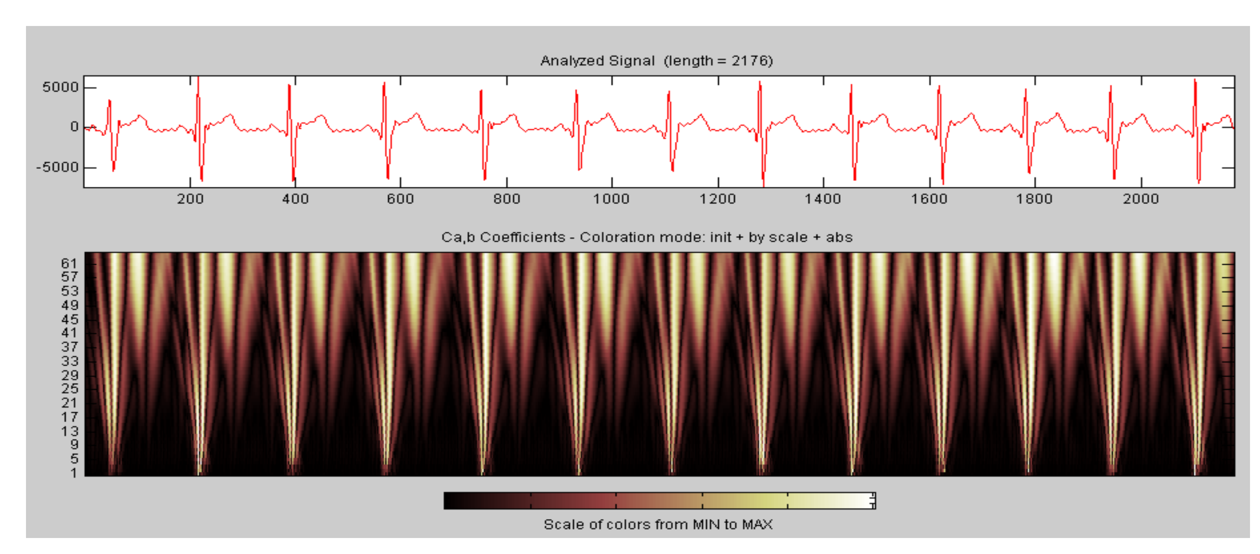


Рис.9. График кардиосигнала и спектрограмма

Исходный подход Прони. Если число используемых отсчетов данных равно числу экспоненциальных параметров, то возможна точная подгонка экспонент под имеющиеся данные. Рассмотрим функцию дискретного времени, представляющую собой сумму p-экспонент:

$$x[n]=\sum_{k=1}^{p} h_k z_k^{n-1} \quad . \tag{6}$$

Заметим, что в этом выражении используется $x[n]$, а не $\tilde{x}[n]$, поскольку точно 2p-комплексных отсчетов $x[1]$, ..., $x[2p]$ используется для точной подгонки к экспоненциальной модели с 2p-комплексными параметрами $h_1, \ldots, h_p, z_1 \ldots, z_p$. Входящие в p-уравнения (6) можно записать в матричной форме:

$$\begin{pmatrix} z_1^0 z_2^0 \ldots\ldots z_p^0 \\ z_1^1 z_2^1 \ldots\ldots z_p^1 \\ . \\ . \\ z_1^{p-1} z_2^{p-1} \ldots z_p^{p-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ . \\ . \\ h_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x[1] \\ x[2] \\ . \\ . \\ x[p] \end{pmatrix} . \tag{7}$$

Матрица с временными индексами элементов z имеет структуру матрицы Вандермонда. Если может быть найден метод для раздельного определения элементов z, то уравнение (7) можно рассматривать как систему уравнений, решив которую, определяют неизвестный вектор комплексных амплитуд.

Ключ к разделению основан на том факте, что уравнение (7) является решением некоторого однородного линейного разностного уравнения с постоянными коэффициентами. Для того чтобы определить вид этого разностного уравнения, определим сначала полином $\phi(z)$, корнями которого являются экспоненты z_k:

$$\phi(z)=\prod_{k=1}^{p}(z-z_k) \; . \tag{8}$$

Если произведения в (13) выразить в виде степенной последовательности, то полином можно представить в следующем виде:

$$\phi(z)=\sum_{m=0}^{p} a[m] z^{p-m} \; , \tag{9}$$

с комплексными коэффициентами $a[m]$, для которых $a[0]$=l.

Осуществляя в уравнении (6) сдвиг индекса от n к (n–m) и умножая обе его части на параметр $a[m]$, получаем

$$a[m]x[n-m]=a[m]\sum_{k=1}^{p} h_k z_k^{n-m-1} \; . \tag{10}$$

Записывая аналогичные произведения $a[0]x[n], \ldots, a[m-1]x[n-m+1]$ и осуществляя суммирование, получаем:

$$\sum_{m=0}^{p} a[m]x[n-m]=\sum_{i=0}^{p} h_i \sum_{m=0}^{p} a[m] z_i^{n-m-1} \; , \tag{11}$$

которое справедливо при $p+1 \le n \le 2p$. Получаем:

$$\sum_{m=0}^{p} a[m]x[n-m]=\sum_{i=0}^{p} h_i z_i^{n-p} \sum_{m=0}^{p} a[m] z_i^{p-m-1}=0 \; . \tag{12}$$

Сумму в правой части (12) можно рассматривать как полином, определяемый уравнением (9), который записан через свои корни, что и обеспечивает в уравнении (12) равенство нулю. Уравнение (12) – это линейное разностное уравнение, однородное решение которого выражается формулой (6). Полином (9), ассоциированный с этим линейным разностным уравнением, называется характеристическим.

Можно записать в виде следующего pxp-матричного уравнения p-уравнения, представляющие истинные значения коэффициентов $a[n]$, удовлетворяющих (12):

$$\begin{pmatrix} x[p]x[p-1]............x[1] \\ x[p+1]x[p]............x[2] \\ . \\ . \\ x[2p-1]x[2p-2]...x[p] \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a[1] \\ a[2] \\ . \\ . \\ a[p] \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} x[p+1] \\ x[p+2] \\ . \\ . \\ x[2p] \end{pmatrix}. \qquad (13)$$

Из уравнения (13) следует, что, имея $2p$-отсчетов комплексных данных, возможно разделение множеств параметров h_k и z_k. Комплексные полиномиальные коэффициенты $a[1]$, ..., $a[p]$, которые являются функциями только зависящих от времени компонентов z_k экспоненциальной модели, позволяют по временным отсчетам сформировать соотношения для линейного предсказания. Матрица в уравнении (13) имеет тёплицеву структуру [3].

Процедуру Прони для подгонки p-экспонент к $2p$-отсчетам данных можно теперь представить в виде следующих трех этапов.

На первом этапе получается решение уравнения (13) для коэффициентов полинома.

На втором этапе вычисляются корни полинома, определяемого уравнением (9). Используя корень z_i можно определить коэффициент затухания a_i и частоту синусоиды f_i с помощью соотношений:

$$a_i = \ln|z_i| / T\,(c^{-1})\,, \qquad (14)$$

$$f_i = \operatorname{arctg}[\operatorname{Im}\{z_i\} / \operatorname{Re}\{z_i\}] / 2\pi T\,(\textit{Гц})\,. \qquad (15)$$

Для завершения процедуры Прони корни полинома, вычисленные на втором этапе, используются далее для формирования элементов матрицы уравнения (7), которое затем решается относительно р комплексных параметров $h[1]$, ..., $h[p]$. Каждый параметр h_i используется далее для определения амплитуды A_i и начальной фазы θ_i, которые вычисляются с помощью вариаций

$$A_i = |h_i|\,, \qquad (16)$$

$$\theta_i = \operatorname{arctg}[\operatorname{Im}\{h_i\} / \operatorname{Re}\{h_i\}] \text{ (рад)}. \qquad (17)$$

Результаты вычислений показаны на рис.3, 10–11.

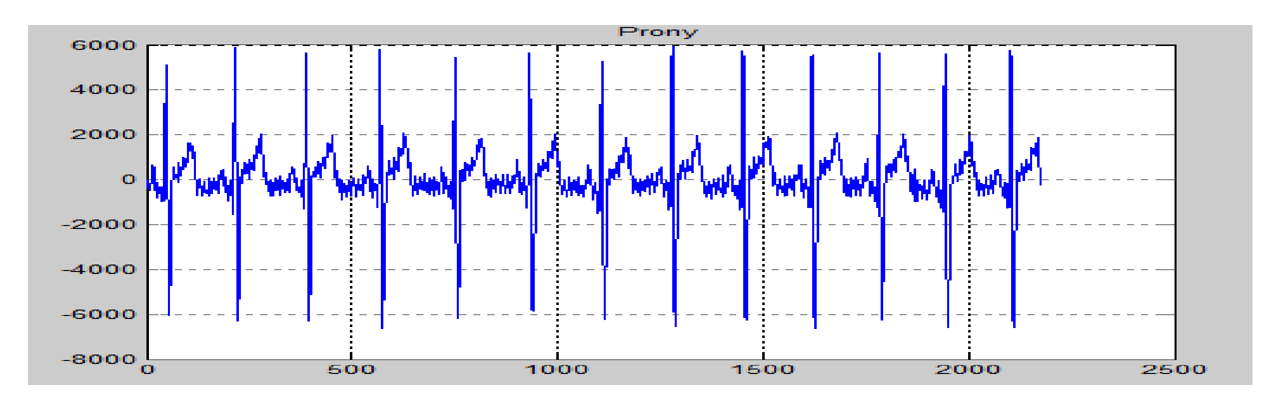


Рис.10. Кардиосигнал, обработанный методом Прони
(сумма комплексных экспонент)

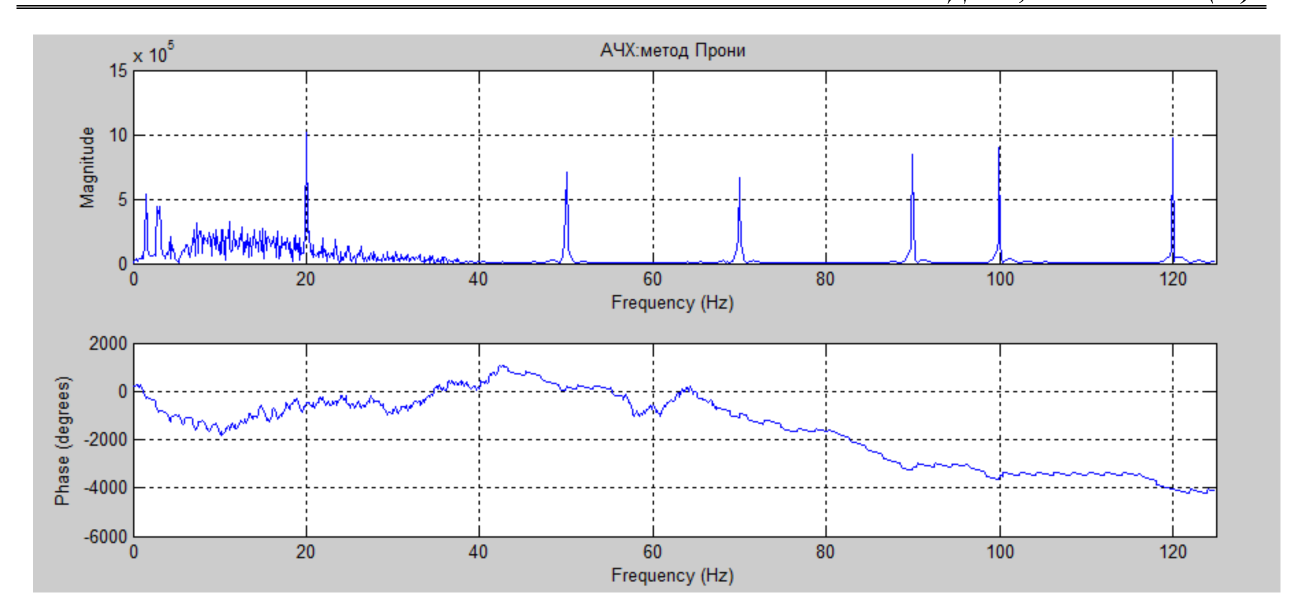


Рис.11. Спектр сигнала и фаза после анализа методом Прони

Метод наименьших квадратов Прони. На практике число отсчетов данных N, как правило, превышает то минимальное их количество, которое необходимо для подгонки модели из p-экспонент, т.е. $N > 2p$. В этом переопределенном случае последовательность отсчетов данных может быть аппроксимирована лишь как экспоненциальная последовательность:

$$\tilde{x}[n] = \sum_{k=1}^{p} h_k z_k^{n-1}\text{, где } 1 \le n \le N. \tag{18}$$

Ошибка аппроксимации в данном случае распределяется выражением $\varepsilon[n] = x[n] - \tilde{x}[n]$. Одновременное нахождение порядка p и параметров $\{h_k, z_k\}$, где $1 \le k \le p$, которые минимизируют сумму квадратов ошибки и представляет собой трудную нелинейную задачу:

$$\rho = \sum_{n=1}^{N} |\varepsilon[n]|^2 . \tag{19}$$

Используя вариант метода Прони можно определить субоптимальное решение, которое обеспечивает удовлетворительные результаты. Используя на первом и втором этапе трехэтапного метода Прони соответствующие линейные процедуры наименьших квадратов, получим процедуру экспоненциального моделирования, которую иногда называют обобщенным методом Прони [3].

Выводы. Применены хорошо разработанные методы Фурье с помощью дискретного преобразования Фурье (ДПФ), использовался алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ), вейвлет-преобразование и метод Прони для анализа и параметризации нестационарных сигналов. Проведена оценка погрешности и сравнительный анализ полученных результатов.

На основе результатов анализа ЭКГ человека показано, что вейвлетные базисы могут быть хорошо локализованными как по частоте, так и по времени. При выделении в сигналах хорошо локализованных разномасштабных процессов можно рассматривать только те масштабные уровни разложения, которые представляют интерес.

Вейвлетные базисы, в отличие от преобразования Фурье, имеют достаточно много разнообразных базовых функций, свойства которых ориентированы на решение различных задач. Базисные вейвлеты могут иметь и конечные, и бесконечные носители, реализуемые функциями различной гладкости.

Использование метода Прони позволяет получить более точные спектральные оценки для коротких последовательностей данных. Указанные возможности позволяют получить новую информацию о динамике изменений ЭКГ в процессе деятельности человека.

Библиографический список

1. Рангайан Р.М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход / Р.М. Рангайан; пер. с англ.; под ред. А.П. Немирко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 440 с.
2. Основы цифровой обработки сигналов: курс лекций / А.И. Солонина, Д.А. Улахович, С.М. Арбузов, Е.Б. Соловьева. – 2-е изд., испр. и перераб. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 768 с.
3. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / С.Л. Марпл-мл. – М.: Мир, 1990. – 584 с.
4. Добеши И. 10 лекций по вейвлетам / И. Добеши. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 464 с.
5. Терехов С.А. Вейвлеты и нейронные сети: лекции для школы-семинара «Современные проблемы нейроинформатики» / С.А. Терехов. – М.: МИФИ, 2010.

References

1. Rangaian R.M. Analiz biomedicinskih signalov. Prakticheskii podhod / R.M. Rangaian; per. s angl.; pod red. A.P. Nemirko. – M.: FIZMATLIT, 2007. – 440 s. - in Russian.
2. Osnovy cifrovoi obrabotki signalov: kurs lekcii / A.I. Solonina, D.A. Ulahovich, S.M. Arbuzov, E.B. Solov'eva. – 2-e izd., ispr. i pererab. – SPb.: BHV-Peterburg, 2005. – 768 s. - in Russian.
3. Marpl-ml. S.L. Cifrovoi spektral'nyi analiz i ego prilojeniya / S.L. Marpl-ml. – M.: Mir, 1990. – 584 s. - in Russian.
4. Dobeshi I. 10 lekcii po veivletam / I. Dobeshi. – Ijevsk: NIC «Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika», 2001. – 464 s. - in Russian.
5. Terehov S.A. Veivlety i neironnye seti: lekcii dlya shkoly-seminara «Sovremennye problemy neiroinformatiki» / S.A. Terehov. – M.: MIFI, 2010. - in Russian.

Материал поступил в редакцию 08.06.10.

A.V. KOLOMEYTSEVA, G.V. MISHUGOVA, A.P. MUL, G.Y. RYABYKH

APPLICATION OF WAVELET-TRANSFORM AND PRONY METHOD FOR THE BIOGENIC SIGNALS IDENTIFICATION

Non-stationary signals of biogenic character (cardiogram, electroencephalogram, etc.) are considered. Analysis of signals with the use of wavelet-transform and Prony method - which unlike classical Fourier method make an improved spectral evaluation - is applied.
Key words: discrete cosine- and sine- transform, Fourier window transform, Daubechies wavelet-transform, Prony method, Toeplitz structures.

КОЛОМЕЙЦЕВА Анна Васильевна окончила Донской государственный технический университет (2010).
Область научных интересов: математическое моделирование, идентификация биогенных сигналов.
Автор 1 публикации.

annakolomeytceva@mail.ru

МИШУГОВА Галина Васильевна, окончила Донской государственный технический университет (2010).
Область научных интересов: математическое моделирование, идентификация биогенных сигналов.
Автор 1 публикации.

galinamishugova@mail.ru

МУЛ Александра Павловна, старший преподаватель кафедры «Математика» Донского государственного технического университета. Окончила механико-математический факультет Ростовского государственного университета (1972).
Область научных интересов: теория функции, педагогика высшей школы.
Автор 25 публикаций.

РЯБЫХ Галина Юрьевна, кандидат физико-математических наук (1994), профессор (1996) кафедры «Математика» Донского государственного технического университета. Окончила механико-математический факультет Ростовского государственного университета (1976).
Область научных интересов: операторы свертки, алгебры сингулярных интегральных операторов со сдвигами и разрывными коэффициентами в пространствах суммируемых и гёльдеровских функций с весом, проблемы фредгольмовости, краевые задачи.
Автор более 32 публикаций.

ryabich@aaanet.ru

Anna V. KOLOMEYTSEVA graduated from the Maths Department, Don State Technical University (2010).
Research interests: mathematical simulation, biogene signals identification.
Author of 1 scientific publication.

annakolomeytceva@mail.ru

Galina V. MISHUGOVA graduated from the Maths Department, Don State Technical University (2010).
Research interests: mathematical simulation, biogene signals identification.
Author of 1 scientific publication.

galinamishugova@mail.ru

Alexandra P. MUL, Senior Lecturer of the Mathematics Department, Don State Technical University. She graduated from the Faculty of Mechanics and Mathematics, Rostov State University (1972).
Research interests: function theory, higher school pedagogics.
Author of 25 scientific publications.

Galina Y. RYABYKH, Professor of the Mathematics Department, Don State Technical University. Candidate in Physics and Maths (1994), Professor (1996). She graduated from the Mechanics and Mathematics Faculty, Rostov State University (1976).
Research interests: operators of convolution; algebras of singular integrated operators with shifts and explosive factors in spaces of summarised and Hölder functions with weight; problems of Fredholm property; regional problems.
Author of more than 32 scientific publications.

ryabich@mail.ru

УДК 004.414.23:62-714:621.37

А.Н. СОЛОВЬЁВ, Л.В. ГЛАЗУНОВА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ В SOLIDWORKS

С увеличением интеграции современной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) существенно возрастает и трудоемкость ее проектирования, что связано с ростом размерности задач, решаемых в процессе разработки. Эффективным способом решения этой проблемы является применение системы автоматизированного проектирования SolidWorks. В работе с помощью этой системы решается задача расчета параметров радиатора охлаждения для бесперебойной работы одного из элементов РЭА.
Ключевые слова: *моделирование процесса охлаждения, тепловыделяющие элементы, теплоотдача, метод конечных элементов (МКЭ), SolidWorks Flow Simulation.*

Введение. Блок обработки приемного сигнала (далее блок) с радиатором жидкостного охлаждения его тепловыделяющих элементов входит в состав бортовой аппаратуры летательных аппаратов. К этой группе продукции предъявляются особые требования по надежности. Надежность, прежде всего, определяется качеством разработки конструкции и использованием максимальных возможностей средств по моделированию и конструированию. Задачей конструктора блока является оптимизация конструкции с целью обеспечение неизменности параметров измерения при дестабилизирующих климатических воздействиях, интенсивность которых связана с условиями эксплуатации, при минимизации материалоемкости и сокращении номенклатуры элементов и материалов. В частности, температура кристалла интегральной микросхемы не должна превышать +70 ºС; при этом атмосферное давление – 150–450 мм рт. ст., температура окружающего воздуха –50 ºС – +65 ºС, влажность воздуха – 98 %.

Для РЭА разработана методика теплового расчета коэффициентным способом [1, 2], которая с достаточной точностью просто и быстро позволяет решать конструкторские вопросы теплообеспечения радиоаппаратуры. SolidWorks – одна из систем, инструменты для моделирования механической части РЭА которой дополняются специальными приложениями, позволяющими проводить частотный анализ, тепловые и прочностные расчеты. У тепловых расчетов в SolidWorks есть свои преимущества: наглядность результатов, автоматическое создание отчета анализа, удобство в использовании, исключение ручных расчетов, облегчение интерпретации результатов анализов.

Цель исследования: моделирование процесса охлаждения блока в SolidWorks, оценка эффективности охлаждения тепловыделяющих элементов радиатором жидкостного охлаждения в определенных климатических условиях; логико-математический выбор устойчивых компромиссов для удовлетворения противоречивых требований технического задания по назначению и надежности исследуемого объекта.

Постановка задачи. В состав блока входят тепловыделяющие элементы, нагреваемые за счет преобразования электрической энергии в тепловую и повышенной температуры окружающего воздуха, корпус блока, радиатор, отводящий тепло от тепловыделяющих элементов на корпус блока. К корпусу блока примыкает радиатор с циркулирующей охлаждающей жидкостью.

В расчетном модуле SolidWorks Flow Simulation необходимо задать условия задачи, максимально приближенные к реальным условиям эксплуатации, провести расчеты и интерпретацию полученных результатов.

В основе расчетной методики лежит, во-первых, математическая модель рассчитываемых физических процессов и, во-вторых, способ решения поставленной математической задачи.

Математические модели конкретной инженерной задачи представляют собой начально-краевые задачи, отражающих законы физики и механики с привлечением полуэмпирических и эмпирических констант и зависимостей.

Движение и теплообмен в жидкости и газе моделируется с помощью уравнений Навье–Стокса [3], описывающих законы сохранения массы, импульса и энергии этих сред. Эта система

уравнений нестационарного пространственного течения имеет следующий вид в рамках подхода Эйлера в декартовой системе координат (x_i, $i = 1, 2, 3$):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_k)}{\partial x_k} = 0, \tag{1}$$

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}\left(\rho u_i u_k - \tau_{ik}\right) + \frac{\partial P}{\partial x_i} = S_i, \tag{2}$$

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}\left((\rho E + P) u_k + q_k - \tau_{ik} u_i\right) = S_k u_k + Q_H, \tag{3}$$

где t — время; u — скорость среды; ρ — плотность среды; P — давление среды; S_i — внешние массовые силы (действие гравитации), действующие на единичную массу среды; E — полная энергия единичной массы среды; Q_H — тепло, выделяемое тепловым источником в единичном объеме среды; τ_{ik} — тензор вязких сдвиговых напряжений; q_k — диффузионный тепловой поток.

Уравнение состояния газообразной среды:

$$\rho = \rho(P, T, y), \tag{4}$$

где $y = (y_1, y_2, ..., y_n)$ — вектор концентраций компонентов среды.

Уравнение состояния жидкости:

$$\rho = \rho(T, y). \tag{5}$$

Тензор вязких сдвиговых напряжений определяется следующим образом:

$$\tau_{ij} = \mu\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3}\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\delta_{ij}\right) - \frac{2}{3}\rho k \delta_{ij}, \tag{6}$$

где $\mu = \mu_i + \mu_d$, — коэффициент динамической вязкости μ_d; μ_t — коэффициент турбулентной вязкости; δ_{ik} — дельта-функция Кронекера; k — кинетическая энергия турбулентности.

Диффузионный тепловой поток моделируется с помощью уравнения

$$q_k = -\left(\frac{\mu_i}{P_r} + \frac{\mu_t}{\sigma_c}\right) c_P \frac{\partial T}{\partial x_k}, \quad k = 1, 2, 3 \ , \tag{7}$$

где $\sigma_c = 0{,}9$, P_r — число Прандтля; c_P — удельная теплоемкость при постоянном давлении; T — температура среды.

Теплопередача в твердых телах рассчитывается с помощью уравнения [4]:

$$\frac{\partial \rho c T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_i}\right) + Q_H, \tag{8}$$

где c — удельная теплоемкость; T — температура; λ — теплопроводность.

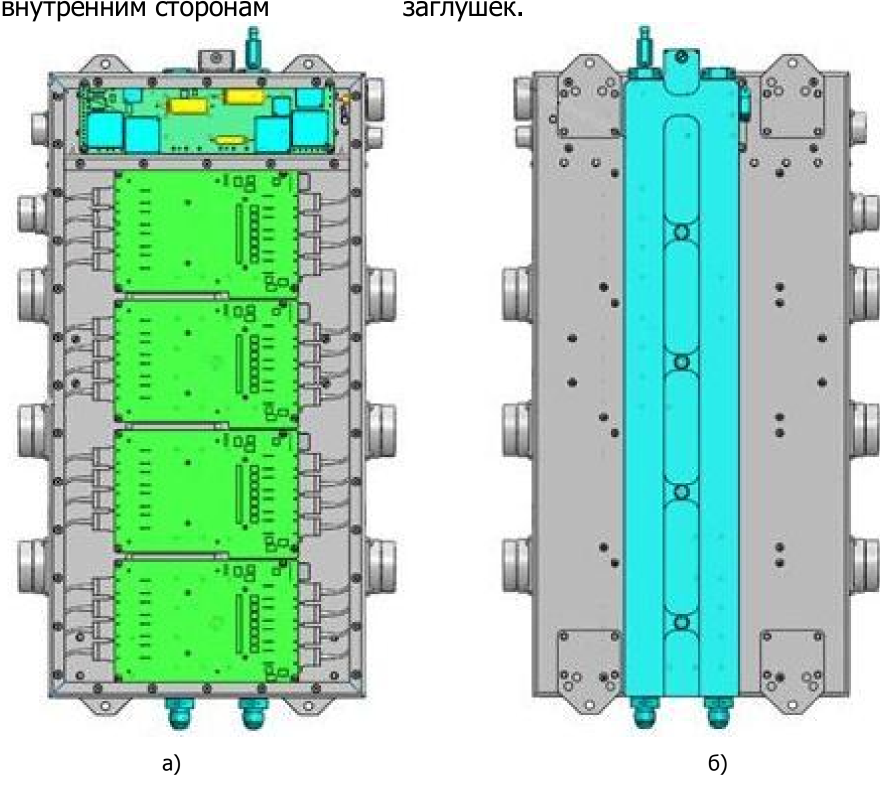
Радиационный теплообмен моделируется в соответствии с законом Стефана—Больцмана:

$$Q_H = \varepsilon \sigma_0 \left(T_W^4 - T_S^4\right), \tag{9}$$

где ε — степень черноты поверхности; σ_0 — постоянная Стефана—Больцмана; T_W — температура поверхности, испускающей излучение; T_S — температура окружающей среды.

Поскольку используемые в математической модели системы дифференциальных уравнений не имеют аналитического решения, они приводятся к дискретному виду и решаются на некоторой расчетной сетке.

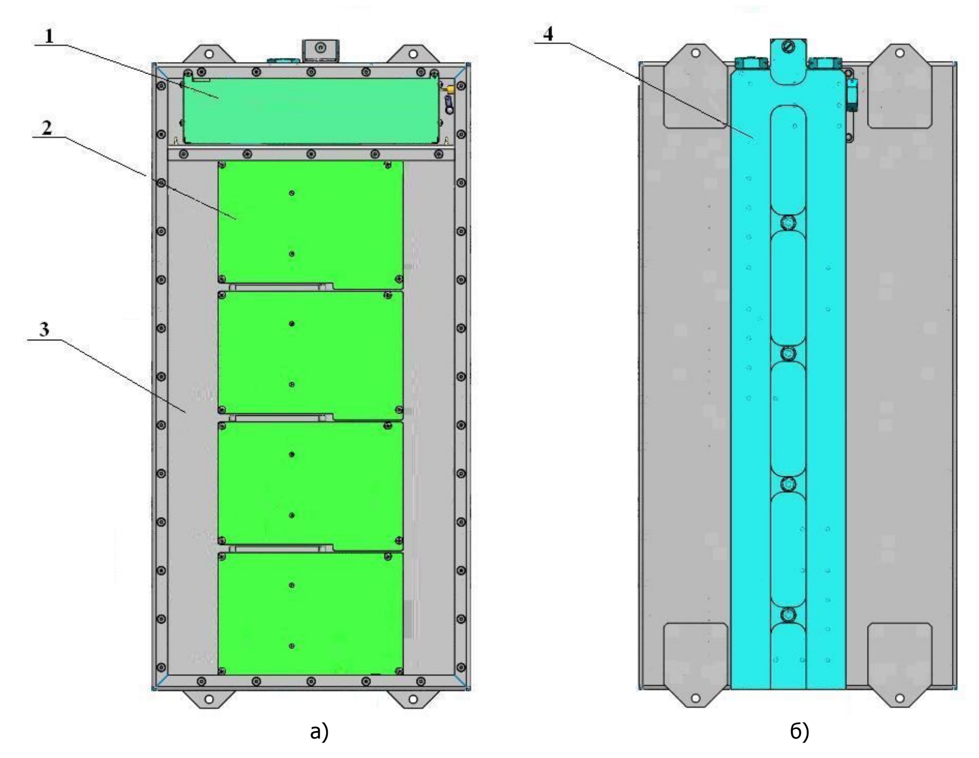
Моделирование в SolidWorks. В системе SolidWorks (Договор № И05110-77 от 05.11.2009 г.)строим объемную модель корпуса и радиатора (рис.1). Для проведения расчета модель блока упрощаем в силу лимитированности вычислительных ресурсов: заменяем элементы сложной геометрии более простыми, исключаем элементы, влиянием на результаты расчета которых можно пренебречь. Выполняем две заглушки в радиаторе жидкостного радиатора, «герметизирующие» полость каналов внутри радиатора, и две заглушки на корпусе блока. Это сделано для того, чтобы сформировать подобласть, занятую охлаждающей жидкостью, в первом случае, и подобласть, заполненную воздухом, во втором случае. Условия входа и выхода теплоносителей должны быть приложены к внутренним сторонам заглушек.



а) б)

Рис.1. Блок обработки приемного сигнала:
а – вид спереди; б – вид сзади (на виде спереди крышка скрыта)

Конструкция блока (рис.2) включает в себя корпус *3*, тепловыделяющие элементы, крепления, пластинчатые радиаторы между корпусом и тепловыделяющими элементами. Тепловыделяющими элементами являются микросхемы. Две микросхемы *1* входят в состав модуля электропитания VICOR V24C5T50BL3 с тепловыделением 7,5 Вт каждая и располагаются между платой модуля и пластинчатым радиатором. Четыре микросхемы *2*, мощностью 25 Вт каждая, входят в состав устройства управления и цифровой обработки. Вся конструкция изготовлена преимущественно из алюминиевого сплава АМг5, за исключением плат из стеклотекстолита. Радиатор охлаждения примыкает ко дну корпуса блока. Блок проектируем таким образом, чтобы тепловыделяющие элементы плотно прилегали к пластинчатым радиаторам, отводящим тепло к корпусу блока. А затем от корпуса блока тепло передается общему радиатору жидкостного охлаждения. Жидкость, в качестве которой выбран водный раствор этиленгликоля ОЖ-65, циркулирует по П-образному каналу круглого сечения диаметром 10 мм. Температура охлаждающей жидкости на входе в канал равна +35±5 °С, расход – 1 л/мин. Задачей охлаждения является обеспечение отвода тепла с теплонагруженных элементов на несущую конструкцию, а затем осуществление конвективной теплопередачи между конструкцией и теплоносителем.



а) б)

Рис.2. Модель блока для расчета:
а – вид спереди; б – вид сзади (на виде спереди крышка скрыта)

Деградационные процессы при пониженной температуре, связанные с конденсацией влаги, изменением электрических характеристик, деформаций сопряженных деталей, в расчетах не рассматриваются вследствие ограниченных возможностей программы. В расчете рассмотрен случай, соответствующий наибольшей вероятности появления перегрева, при котором температура окружающего воздуха +65 ºС.

Для адаптации математической модели к конкретной физической задаче и области пространства задаем условия задачи.

Граничные условия: температура блока – +65 ºС, температура окружающего воздуха – +65 ºС. Назначены две текучие среды: внутри блока: воздух и теплоноситель ОЖ-65 (в каналах радиатора). Условие входа охлаждающей жидкости в канал радиатора: температура жидкости – +40 ºС и скорость жидкости – 0,213 м/с. Условие выхода охлаждающей жидкости: статическое давление. На стенках блока — теплоотдача наружных стенок блока с учетом окружающей температуры, статическое давление – на боковой стенке блока (имитация негерметичности блока).

Назначены коэффициенты излучения и степень черноты элементов конструкции, массовый расход, шероховатость поверхности каналов радиатора, мощность термоактивных элементов по условию задачи. Создана модель контактного теплового сопротивления между термоактивными элементами и корпусом блока, соответствующего защитному покрытию корпуса блока, применяемому в связи с повышенной влажностью окружающей среды. Также активизирована опция «Давление в точке отсчета», при которой статическое давление жидкой среды автоматически корректируется по высоте с учетом гравитационного ускорения.

Для нахождения искомого численного решения задачи континуальная математическая модель физических процессов дискретизируется по пространству. Решение задачи о движении и теплообмене жидкой среды и газа определяется как установившееся во времени. Исходя из условия Куранта [5], шаги дискретизации по пространству в ячейке определяются в зависимости от значений физических величин. На сформированной таким образом некоторой расчетной сетке дискретное решение поставленной дифференциальной математической задачи в общем случае зависит от размеров ячеек расчетной сетки. Для дискретизации дифференциальных уравнений в SolidWorks Flow Simulation используется метод конечных объемов. Чтобы решить поставленную

математическую задачу с заданной точностью, необходимо провести несколько расчетов на разных более редких и более частых расчетных сетках, чтобы определить такую частоту сетки, начиная с которой решение задачи перестает значимо зависеть от частоты сетки, что указывает на достижение необходимой точности решения математической задачи, т.е. сеточной сходимости решения математической задачи. Таким образом, допустимый уровень разрешения сеткой выступов поверхности задаем максимальным. Включаем опцию дробления сетки в узких каналах и устанавливаем критическое число ячеек поперек узкого канала, равное 11. Минимальный размер ячеек – 0,123 мм, минимальная толщина стенок твердого тела– 0,7 мм.

Численные результаты. Решение системы уравнений (1)–(3) для стационарных процессов зависит от следующих условий:

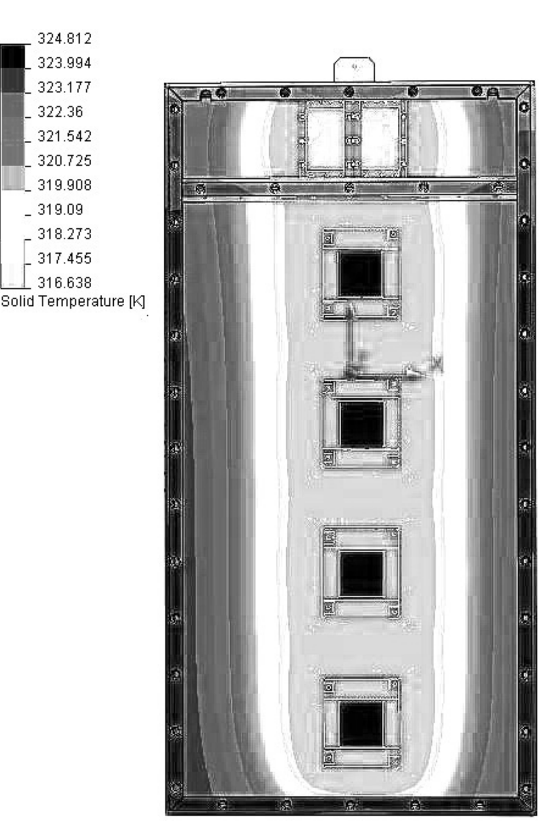
– физические условия, характеризующие теплофизические свойства среды: $c_P, \rho, \lambda, \beta, \mu, \mu_i$;

– геометрические условия, определяющие форму и размеры системы, в которой протекает процесс;

– граничные условия, определяющие взаимодействие между различными средами на внешних и внутренних границах рассматриваемой системы.

Варьируя эти условия, можно повлиять на параметры теплового процесса.

Расчет показал, что при пониженном атмосферном давлении и повышенной температуре окружающего воздуха излучение тепла с теплонагруженных элементов в воздух по сравнению с нормальными условиями эксплуатации снижается на 17,8 %, а конвекция с воздухом – на 9 %, так как уменьшается теплоемкость воздуха. Таким образом, наибольший отвод тепла осуществлен радиатором жидкостного охлаждения. Температура микросхем не превышает допустимую и равна +52 ºC (рис.3), что ниже допустимого значения на 18 ºC; температура плат – 54 ºC; температура воздуха внутри блока – 63,8 ºC (рис.4,а); температура жидкости на выходе из радиатора повысилась на 0,4 ºC (рис.4,б). Это позволяет прогнозировать надежную работу блока. Эффективное



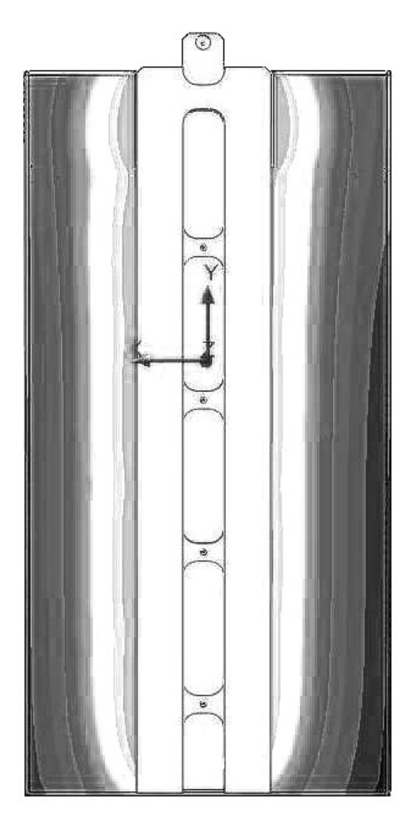


Рис.3. Распределение температуры в блоке:
а – вид спереди; б – вид сзади (крышка и платы скрыты)

охлаждение обусловлено оптимальным сочетанием следующих свойств охлаждающей жидкости, величины которых входят в уравнения (1)–(6): коэффициент динамической вязкости, коэффициент турбулентной вязкости, скоростной напор, плотность, теплоемкость.

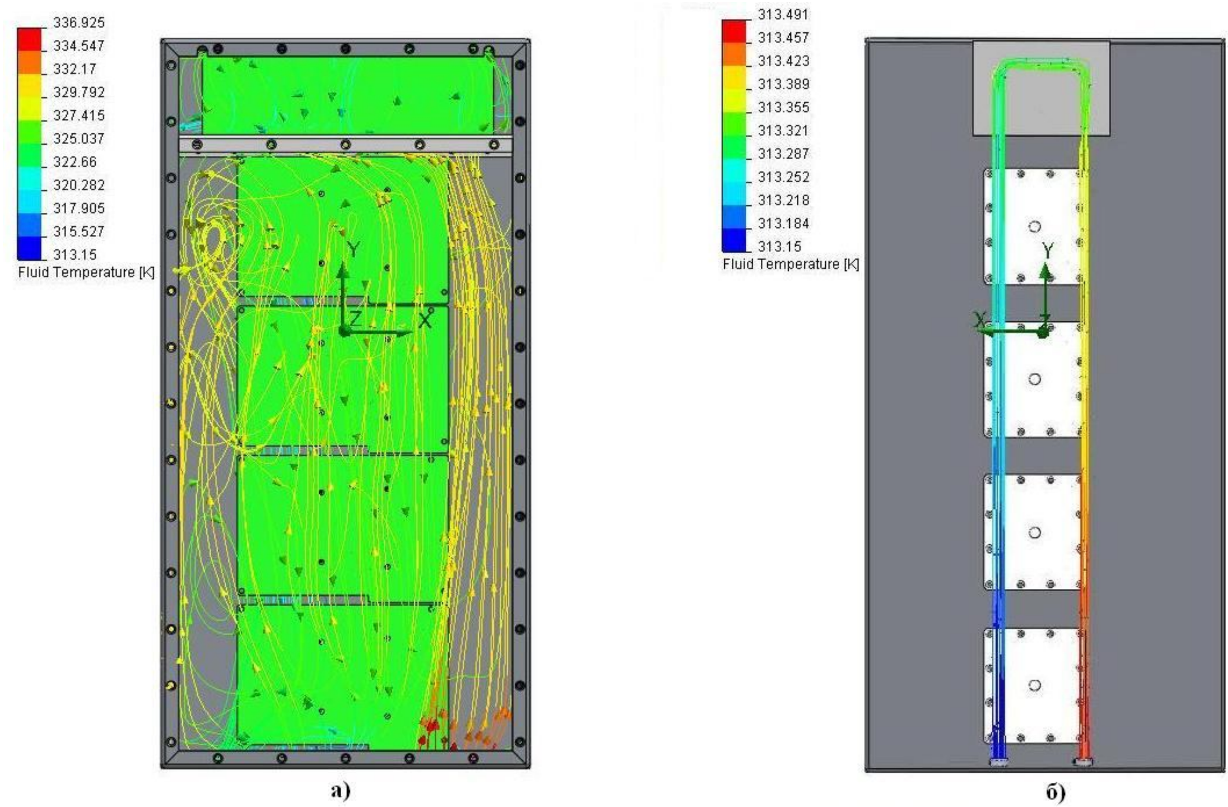


Рис.4. Температура воздуха в блоке и потока жидкости в радиаторе охлаждения:
а – вид спереди; б – вид сзади (радиатор скрыт для визуализации результатов)

Если варьирование физическими и граничными условиями невозможно, можно изменить, во-первых, геометрию канала и, во-вторых, поверхность съема тепла.

В первом случае при сужении диаметра канала от 11 до 2 мм происходит интенсификация теплоотдачи, обусловленная повышением турбулизации пограничного слоя охлаждающей жидкости вследствие увеличения скорости ее течения. При диаметре меньше 2 мм происходит уменьшение теплоотдачи, вызванное сокращением площади съема тепла (см. табл.). При увеличении диаметра канала более 13 мм теплоотдача снижается в результате снижения скорости течения. При любом из диаметров канала рассматриваемого диапазона теплоотдача эффективна.

Зависимость параметров теплового процесса от диаметра канала

Диаметр канала радиатора, мм	Температура жидкости на выходе из канала, °С	Минимальная температура кристалла, °С	Максимальная температура кристалла, °С	Скорость течения охлаждающей жидкости, м/с	Отведенная радиатором тепловая мощность, Вт
2	40,2	48,5	55,4	5,3	82,1
4	40,1	48,0	54,5	1,327	81,29
6	40,15	48,6	55,1	0,589	79,92
8	40,25	51,3	55,9	0,332	78,02
10	40,35	51,7	56,9	0,212	76,39
11	40,4	52,1	57	0,175	75,38
13	40,3	53,7	57,3	0,126	76,57
15	40,45	49,4	55,9	0,094	76,51

Во втором случае на теплоотдачу влияет шероховатость поверхности каналов радиатора. Причина в том, что вблизи шероховатой стенки скорость потока уменьшается больше, чем вблизи

гладкой, что приводит к уменьшению теплового потока на 10 %. Наличие же шероховатости, по крайней мере, в модели SolidWorks Flow Simulation, никак не сказывается на излучающих свойствах поверхностей.

Выводы. Результат расчета показывает наличие в блоке дополнительных напряжений термического происхождения. Величина максимального напряжения составила 1972 Па. Термостойкость должны повышать все факторы, уменьшающие величину деформации при термических нагрузках, в первую очередь, снижение коэффициента термического расширения и увеличение теплопроводности. Следовательно, для снижения напряжений в конструкции необходимо увеличить толщину деталей, а также заменить материал конструкции на более термостойкий, например, АМг6.

Перспектива продолжения работы состоит в решении вопроса о взаимном действии механических и тепловых эксплуатационных нагрузок и подтверждении результатов расчетов экспериментальной проверкой.

Библиографический список

1. Дульнев Г.Н. Тепловые режимы радиоэлектронной аппаратуры / Г.Н. Дульнев, Н.Н. Тарановский. – Л.: Энергия, 1971.
2. Справочник конструктора РЭА. Общие принципы конструирования / под ред. Р.Г. Варламова. – М.: Советское радио, 1980.
3. Исаченко В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1981. – 417 с.
4. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 343 с.
5. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы / Р. Галлагер; пер. с англ. – М.: Мир, 1984.

References

1. Dul'nev G.N. Teplovye rejimy radioelektronnoi apparatury / G.N. Dul'nev, N.N. Taranovskii. – L.: Energiya, 1971. – in Russian.
2. Spravochnik konstruktora REA. Obschie principy konstruirovaniya / pod red. R.G. Varlamova. – M.: Sovetskoe radio, 1980. – in Russian.
3. Isachenko V.P. Teploperedacha / V.P. Isachenko, V.A. Osipova, A.S. Sukomel. – M.: Energiya, 1981. – 417 s. - in Russian.
4. Miheev M.A. Osnovy teploperedachi / M.A. Miheev, I.M. Miheeva. – M.: Energiya, 1977. – 343 s. - in Russian.
5. Gallager R. Metod konechnyh elementov. Osnovy / R. Gallager; per. s angl. – M.: Mir, 1984. – in Russian.

Материал поступил в редакцию 27.05.10.

A.N. SOLOVIEV, L.V. GLAZUNOVA

SIMULATION OF ELECTRONIC EQUIPMENT ELEMENTS COOLING IN SOLIDWORKS

Hand in hand with the integration increase of the up-to-date radio electronic equipment (REE) there grows substantially its design complexity, which is associated with an increase in the dimension of the problems solved in the development process. The application of SAD SolidWorks is an effective way to solve this problem. The problem of calculating the parameters of the radiator cooling for continuous operation of one of the elements of REE is solved with the help of this system.

Key words: cooling simulation, fuel elements, heat transfer, finite element method, SolidWorks Flow Simulation.

СОЛОВЬЁВ Аркадий Николаевич (р. 1954), заведующий кафедрой «Сопротивление материалов» Донского государственного технического университета, доктор физико-математических наук (2006), профессор (2005). Окончил механико-математический факультет Ростовского государственного университета (1976).
Область научных интересов: механика твердого деформируемого тела, обратные задачи, метод конечных элементов, генетические алгоритмы.
Автор более 200 публикаций и 3 монографий.
Имеет патент.

soloviev@math.rsu.ru.

ГЛАЗУНОВА Лейла Владимировна, аспирант кафедры «Сопротивление материалов» Донского государственного технического университета. Окончила факультет «Машины и оборудование агропромышленного комплекса» Донского государственного технического университета (2008).
Область научных интересов: анализ надежности радиоэлектронной аппаратуры на основе связанных задач термоупругости, методы повышения запаса прочности РЭА, метод конечных элементов.
Автор 3 публикаций.

lejlaglazunova@yandex.ru

Arkady N. SOLOVIEV (1954), Head of the Strength of Materials Department Don state Technicai University. Ph.D. in Physics and Maths (2006). Professor (2005). He graduated from the Mechanics and Mathematics Faculty, Rostov State University (1976).
Research interests: mechanics of solid deformable body, inverse problems, finite element method, genetic algorithms.
Author of more than 200 scientific publications, 3 monographs and 1 patent.

soloviev@math.rsu.ru.

Leila V. GLAZUNOVA, Postgraduate student of the Strength of Materials Department, Don State Technical University. She graduated from the Agro-industrial Complex Machines and Equipment Faculty, Don State Technical University (2008).
Research interests: radioelectronic equipment reliability analysis based on the related problems of thermoelasticity, methods of increasing the safety margin of REE, finite element method..
Author of 3 scientific publications.

lejlaglazunova@yandex.ru

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 681.3+681.5

В.Г. КОБАК, Д.В. ТИТОВ, В.В. КОБАК

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УЛУЧШЕНИЮ РАБОТЫ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА В ОДНОРОДНОЙ МИНИМАКСНОЙ ЗАДАЧЕ

Дается оценка модификациям генетического алгоритма, решения которых очень близки к оптимальным за полиномиальное время. Эти алгоритмы приводят, в конечном счете, к решению двухприборной минимаксной задачи различными вычислительными путями.

Ключевые слова: *теория расписаний, задача планирования, трудоемкость решения, генетический алгоритм, списочные алгоритмы, вычислительный эксперимент, множество заданий, ядра процессора.*

Введение. Во многих отраслях промышленности часто применяются многопроцессорные (многоядерные) вычислительные системы для решения различного рода задач. При этом используют различные методы построения расписаний для эффективного решения таких задач, которые необходимо распределить по параллельно работающим процессорам (ядрам).

Построение оптимального расписания распределения заданий по процессорам относится к задачам *NP*-полным, т.е. трудоемкость решения распределительной задачи определяется по экспоненте как $O(n^m)$, где O – временная асимптотическая сложность алгоритма, а n и m – целые числа больше единицы, обозначающие количество устройств и заданий соответственно, которые задают размерность распределительной задачи nm. Исследование теории расписаний помогает изучить фундаментальные свойства практических задач и направлено на построение более эффективных алгоритмов решения.

В настоящее время крупные производители процессоров Intel и AMD выпускают четырехъядерные процессоры. Однако AMD анонсировало выпуск шестиядерных процессоров, поэтому задача планирования распределения заданий по шести ядрам сейчас является крайне актуальной.

Постановка задачи. Задача теории расписаний для однородных систем обработки информации может быть сформулирована следующим образом. Имеется однородная вычислительная система, состоящая из n идентичных параллельных процессоров (ядер) $P=\{p_1,\dots,p_n\}$, на которые поступает m независимых заданий $Q=\{q_1,\dots,q_m\}$, образующих параллельную программу, причем известно время выполнения j-го задания (t_j) на любом из процессоров вычислительной системы, где $j=\overline{1,m}$. В каждый момент времени отдельный процессор обслуживает не более одного задания, которое не передается на другой. Задача составления расписания сводится к разбиению исходного множества заданий на n непересекающихся подмножеств, т.е. $Q_i:\forall i,j\in[1,n]\to Q_i\bigcap Q_j=0$ и $\bigcup\limits_{i=1}^{n}Q_i=Q.$ Критерием разбиения, обеспечивающего оптимальность расписания по быстродействию, служит минимаксный критерий. Он определяет такое распределение заданий по процессорам, при котором время завершения T параллельной программы минимально, т.е. $T=\max\limits_{1\le i\le n}\{T_i\}\to\min$, где $T_i=\sum\limits_{t_j\in Q_i}t_j$ – загрузка i-ого процессора (время окончания выполнения множества заданий $Q_i\subseteq Q$, назначенных на процессор p_i, где $i=\overline{1,n}$) [1].

Методы решения распределительной задачи. Методы решения однородных распределительных задач можно разбить на два класса. Первый класс – это точные методы, к которым относятся метод полного перебора, алгоритм Романовского, алгоритм Алексеева. Второй – приближенные методы (списочные и эвристические). Списочные методы – метод критического пути, ал-

горитм Пашкеева и др. Эвристические методы – генетические алгоритмы, метод отжига, метод роящихся частиц и др.

Для получения оптимального решения однородной распределительной задачи используются точные методы решения. С увеличением размерности, в силу ее NP-полноты, а также при сужении диапазона ресурсных оценок распределяемых заданий оптимальное решение за доступное время может стать недостижимым. В этой ситуации приходится ориентироваться на быстрые, но приближенные методы, позволяющие получить решение близкое к оптимальному, такие, как генетические алгоритмы.

Списочные методы. Списочные методы отличаются простотой в построении и реализации, характеризуются высокой эффективностью и оптимальным временем выполнения. Физический смысл списочных расписаний заключается в распределении работы на устройства, на данный момент наименее загруженные, а общее время выполнения будет близким к минимальному. Реализация списочных расписаний основана на применении линейных списков работ, упорядоченных по убыванию приоритета в соответствии с принятым алгоритмом выбора работ.

Одним из самых распространенных списочных алгоритмов является метод критического пути – *Critical Path Method* (*CPM*). Принцип действия *CPM* заключается в том, что очередное задание из списка заданий, упорядоченных по убыванию, назначается на процессор с самой минимальной суммарной загрузкой. Для данного метода имеется теоретически вычисленная максимальная оценка погрешности, которая не зависит от количества распределяемых работ или их размера. Уровень точности задается соотношением $F_{CPM}/F_0 \le 4/3 - 1/3n$, где F_{CPM} – решение, полученное с помощью *CPM*, F_0 – точное решение [1]. Следовательно, $\lim_{n\to\infty} F_{CPM}/F_0 \le 4/3,$ т.е. при росте размерности задачи погрешность не будет превышать 0,33. Данный факт позволяет использовать *CPM* в качестве базового алгоритма при сравнительном анализе приближенных и вероятностных алгоритмов на задачах большой размерности.

Генетические алгоритмы. К одним из самых популярных эвристических методов относятся генетические алгоритмы (ГА), которые являются одной из парадигм эволюционных вычислений, построены на принципах, сходных с принципами естественного отбора и генетики. Общий принцип работы ГА состоит в следующем: на первом шаге формируется начальное поколение, состоящее из заданного числа особей; на втором происходит отбор особей и применение операторов кроссовера и мутации ГА с заданной вероятностью, формирование нового поколения; на шаге три проверяются условия останова, которая обычно заключается в неизменности лучшего решения в течение заданного числа поколений, если проверка прошла успешно, то лучшая особь выбирается как найденное решение, иначе происходит переход на второй шаг. Такая схема является наиболее общим алгоритмом для решения разнотипных задач. В данном случае, при решении задачи теории расписания минимаксный критерий будет являться оптимизационной функцией, а условием останова будет неизменность лучшего решения в течение заданного числа поколений. При отборе родительских пар для оператора кроссовера берется текущая и случайно выбранная особь из исходного вектора особей. Для формирования нового поколения используется турнирный отбор, когда из заданного числа особей (в данном случае две) выбирается лучшая, которая перейдет в новое поколение. Лучшей особью считается та, для которой значение оптимизационной функции минимально.

Модификации генетического алгоритма. Была предложена модификация ГА [2], когда при формировании нового поколения использовался бинарный турнирный отбор, в котором участвовала очередная особь, т.е. родительская, и результирующая, полученная в ходе выполнения операторов кроссовера и мутации. Данная модификация давала самый лучший результат из рассмотренных [2]. Предложенный способ формирования нового поколения называется турнир с родителем.

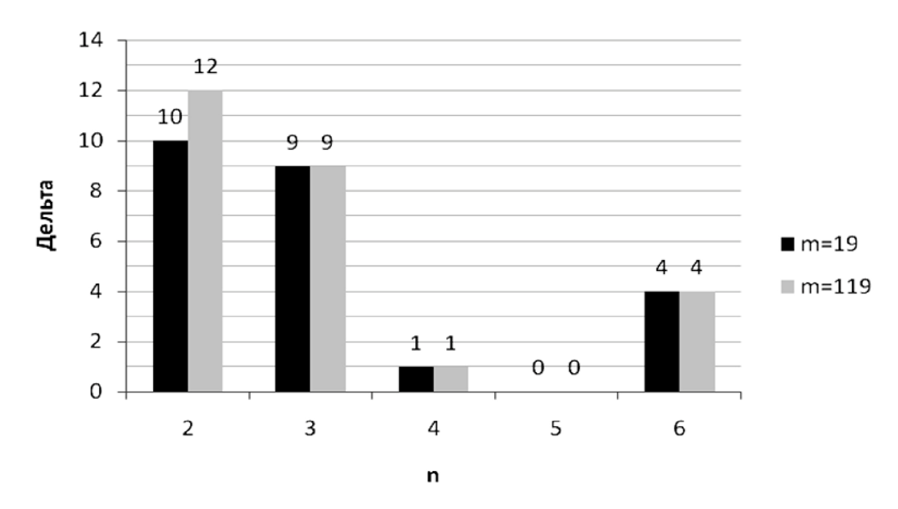
Декомпозиционный подход к решению распределительных задач с четным количеством процессоров заключается в следующем [3]: вначале распределяется m заданий с помощью ГА на k процессоров, где $k = n/2,$ получается k непересекающихся подмножества заданий, т.е. $Q_1 \cup Q_2 \cup \ldots \cup Q_k = Q.$ Далее распределяется, применяя ГА, каждое подмножество заданий

$Q_1, Q_2, \ldots, Q_k$ на два процессора, в результате получается $2k = n$ непересекающихся подмножества заданий, т.е. $Q_{11} \cup Q_{12} = Q_1, \ldots,$ $Q_{k1} \cup Q_{k2} = Q_k$, образующих расписание для n-процессорной вычислительной системы, т.е. $Q_{11} \cup Q_{12} \cup \ldots \cup Q_{k1} \cup Q_{k2} = Q.$ Данная модификация показала наилучшие результаты из рассмотренных модификаций ГА для четного количества процессоров [3]. Причем, если в результате выполнения данного алгоритма получается, что $k = n/2$ является четным числом, то для распределения m заданий на k процессоров вызывается рекурсивно данный алгоритм. Этот подход получил название метод бинарной декомпозиции с использованием ГА (МБД ГА).

Также авторами анонсирован новый декомпозиционный подход к решению однородных распределительных задач, заключающийся в поэтапном снижении размерности распределительной задачи путем понижения количества процессоров от n до двух с сохранением на каждом этапе лучшего распределения заданий на одном из процессоров. Для этого вначале вычисляется теоретически возможное минимальное решение $T_{\min} = \sum_{j=1}^{m} t_j / n$. Затем, распределяются задания с помощью ГА по n устройствам. Вычисляется, насколько загрузка каждого устройства отличается от $T_{\min}$, т.е. $\Delta T_i = | T_i - T_{\min} |$, где T_i – загрузка i-го устройства. Множество заданий Q_n, назначенных на устройство с самой минимальной разностью ΔT_i, запоминается, а остальные задания распределяются с помощью ГА по $n-1$ устройствам. Затем также вычисляется ΔT_i и множество заданий Q_{n-1}, назначенных на устройство с самой минимальной разностью ΔT_i, запоминаются, а остальные задания распределяются с помощью ГА по $n-2$ устройствам и так далее. Данная последовательность действий выполняется пока $n > 2$, затем с помощью ГА распределяются оставшиеся задания на два устройства, получается два множества заданий Q_1 и Q_2. В итоге множества заданий, которые запоминались и два последних, образуют расписание для n-процессорной вычислительной системы, т.е. $Q_n \cup Q_{n-1} \cup \ldots \cup Q_2 \cup Q_1 = Q.$ Данный подход обозначим как метод декомпозиции с использованием ГА (МД ГА).

Анализ эффективности генетических относительно списочных алгоритмов. Для сравнения эффективности генетических алгоритмов по отношению к списочным был проведен вычислительный эксперимент. Количество элементов системы параллельной обработки информации – от 2 до 6 процессоров. Количество работ, которые распределялись между процессорами, – 19 и 119. Для проведения эксперимента были случайным образом сгенерированы 100 векторов загрузки, содержащие работы в диапазоне [25, 30], каждый из векторов решался *CPM* и ГА, с использованием турнира с родителем. Для ГА были выбраны следующие фиксированные параметры: число особей – 50, условие останова – появление в процессе решения более 500 поколений с лучшей одинаковой особью, вероятность кроссовера – 90 %, а вероятность мутации – 10 %. Полученные результаты усреднялись по количеству экспериментов, т.е. $T_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^{100} T_i / 100.$ Для оценки эффективности рассматриваемых алгоритмов приведен график зависимости $\Delta T = T_{\text{ср}}^{CPM} - T_{\text{ср}}^{\text{ГА}}$ (см. рисунок), где $T_{\text{ср}}^{CPM}$ – усредненный результат для *CPM*, $T_{\text{ср}}^{\text{ГА}}$ – усредненный результат для ГА, с использованием турнира с родителем

Таким образом, проанализировав результаты, приведенные на диаграмме, можно отметить, что наиболее перспективной для финальной работы генетических алгоритмов является двухприборная система обработки информации. Именно при таком количестве приборов происходит наибольшее приближение к оптимальному распределению.



Сравнение ΔT для *CPM* и ГА

Экспериментальное сравнение генетических алгоритмов. Так как задача планирования распределения заданий по шести ядрам сейчас является крайне актуальной, то для анализа эффективности генетических алгоритмов был проведен вычислительный эксперимент для процессорных систем обработки информации состоящих из шести элементов, количество работ, которые распределялись между процессорами, составляло 19 и 119. Для проведения эксперимента были случайным образом сгенерированы 100 векторов загрузки, содержащие работы в диапазоне [25, 30], каждый из векторов решался ГА, МБД ГА и МД ГА. Для всех ГА были выбраны следующие фиксированные параметры: число особей составляло 50, условием останова являлось появление в процессе решения более 500 поколений с лучшей одинаковой особью, вероятность кроссовера составляла 90 %, а вероятность мутации 10 %. Полученные результаты усреднялись по количеству экспериментов (см. табл.).

Экспериментальное сравнение генетических алгоритмов

n	*m*	Усредненное решение			Усредненное время решения задач, мс		
		ГА	МБД ГА	МД ГА	ГА	МБД ГА	МД ГА
6	19	102,85	101,31	101,23	26	57	91
	119	550,61	545,57	547,65	161	257	495

Можно отметить, что при малом количестве заданий алгоритм МД ГА является наиболее эффективным. Но с увеличением количества заданий наиболее эффективным становится алгоритм МБД ГА.

Выводы. При большом количестве заданий и четном количестве приборов наиболее перспективным для решения однородной минимаксной задачи является МБД ГА. Однако данный алгоритм не приспособлен для решения задач с нечетным количеством приборов. В этом случае наиболее пригоден алгоритм МД ГА. Списочным алгоритмом можно пользоваться для получения быстрой вспомогательной оценки.

Библиографический список

1. Коффман Э.Г. Теория расписания и вычислительные машины / Э.Г. Коффман. – М.: Наука, 1987. – 334 с.

2. Нейдорф Р.А. Сравнительный анализ эффективности вариантов турнирного отбора генетического алгоритма решения однородных распределительных задач / Р.А. Нейдорф, В.Г. Кобак, Д.В. Титов // Вестник ДГТУ. – 2009. – Т. 9. – № 3. – С. 410–418.

3. Титов Д.В. Модификация генетического алгоритма распределения для четного количества однородных приборов / Д.В. Титов // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Технические науки. – 2010. – № 1. – С. 3–6.

References

1. Koffman E.G. Teoriya raspisaniya i vychislitel'nye mashiny / E.G. Koffman. – M.: Nauka, 1987. – 334 s. - in Russian.
2. Neidorf R.A. Sravnitel'nyi analiz effektivnosti variantov turnirnogo otbora geneticheskogo algoritma resheniya odnorodnyh raspredelitel'nyh zadach / R.A. Neidorf, V.G. Kobak, D.V. Titov // Vestnik DGTU. – 2009. – T. 9. – № 3. – S. 410–418. - in Russian.
3. Titov D.V. Modifikaciya geneticheskogo algoritma raspredeleniya dlya chetnogo kolichestva odnorodnyh priborov / D.V. Titov // Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Tehnicheskie nauki.– 2010. – № 1. – S. 3–6. - in Russian.

Материал поступил в редакцию 28.05.10.

V.G. KOBAK, D.V. TITOV, V.V. KOBAK

THE ALGORITHMIC APPROACH TO IMPROVEMENT OF WORK GENETIC ALGORITHM IN THE HOMOGENEOUS MINIMAX PROBLEM

The given work states an estimation to two updatings of genetic algorithm which give decisions very close to optimum, for polynom time. Both these of algorithm, lead, finally, to the decision of a two-instrument minimax problem, however on various computing ways.
Key words: theory of schedules, planning problem, labour input of the decision, genetic algorithm, list algorithms, computing experiment, set of tasks, processor kernels.

КОБАК Валерий Григорьевич (р. 1961), профессор кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Донского государственного технического университета, доктор технических наук (2010), доцент (2007). Окончил Новочеркасский политехнический институт (1983).
Область научных интересов: методы решения экстремальных задач в однородных и неоднородных вычислительных системах.
Автор более 90 публикаций.

valera33305@mail.ru

ТИТОВ Дмитрий Вячеславович (р. 1981), старший преподаватель кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Донского государственного технического университета. Окончил Донской государственный технический университет (2005).
Область научных интересов: методы решения минимаксной задачи в однородных вычислительных системах точными и приближенными алгоритмами.
Автор более 14 публикаций.

titov_dima@mail.ru

КОБАК Валерий Валерьевич (р. 1986), аспирант Южно-Российского государственного университета. Окончил Южно-Российский государственный университет (НПИ) (2008).

Область научных интересов: методы решения минимаксной и квадратичной задач в однородных и неоднородных вычислительных системах приближенными алгоритмами.
Автор более 8 публикаций.

valera33305@mail.ru

Valery G. KOBAK (1961), Professor of department Software of computer facilities and automated systems Don State Technical University. Ph. D in Science (2010), associate professor (2007). He graduated Novocherkassk Polytechnic Institute (1983).
Research interests: methods of the decision of extreme problems in homogeneous and non-uniform computing systems.
Author more than 90 scientific publications.

valera33305@mail.ru

Dmitry V. TITOV (1981), Senior lecturer of the Computer Software and Automated Systems Department, Don State Technical University. He graduated from Don State Technical University (2005).
Research interests: solution methods of a minimax problem in homogeneous computing systems by the exact and approached algorithms.
Author of more than 14 scientific publications.

titov_dima@mail.ru

Valery V. KOBAK (1986), Postgraduate student of South-Russian State Technical University. He graduated from South-Russian State Technical University (2008).
Research interests: solution methods of minimax and square-law problems in homogeneous and non-uniform computing systems by the approached algorithms.
Author of more than 8 scientific publications.

valera33305@mail.ru

УДК 678.5.046:621.762

К.Г. ШУЧЕВ, И.А. ЗОРИЕВ, И.В. ОВЕЧКИН, М.С. ШЕВЦОВА, С.И. ИВАНОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ КОНТАКТИРОВАНИЯ ПОЛИМЕРПОРОШКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Установлено оптимальное соотношение площадей полимера и металлокерамики в зоне трения для разработанной конструкции полимерпорошковых подшипников скольжения с комбинированной рабочей поверхностью, способной удерживать смазку в порах порошковой матрицы.
***Ключевые слова**: подшипник скольжения, полимерпорошковая поверхность.*

Введение. Надежность, экономичность, а во многих случаях и габаритные размеры машин, зависят от конструкции опор трения, поэтому к подшипниковым узлам предъявляют повышенные требования, обусловленные увеличением частоты вращения, статических и динамических нагрузок, а также необходимостью значительного увеличения их ресурса.

Известны широко применяемые в различных машинах порошковые пористые подшипники скольжения, пропитанные жидкими смазочными материалами [1]. Эти подшипники работают в условиях самосмазывания, что обеспечивается выделением масла из пор в результате его терморасширения при нагреве в процессе трения.

К недостаткам подобных подшипников в пусковой период следует отнести образование прямого контакта стального вала с порошковой втулкой, так как подшипник еще не нагрелся, и затруднения в выделении смазочного материала из пор в связи с их перекрытием валом, испытывающим действие рабочих нагрузок. Перекрытие пор в период выбега и останова вала также является недостатком, так как затрудняет возврат смазочного материала в поры после его охлаждения. Это существенно увеличивает утечку масла.

Конструкция и технология изготовления подшипников. Перечисленные недостатки можно компенсировать полимерпорошковыми подшипниками скольжения с принципиально иной макроструктурой рабочей поверхности [2, 3]. Разработанные конструкции подшипников (рис. 1) имеют на рабочей поверхности порошковой матрицы полимерные вставки, выступающие на 5–8 мкм.

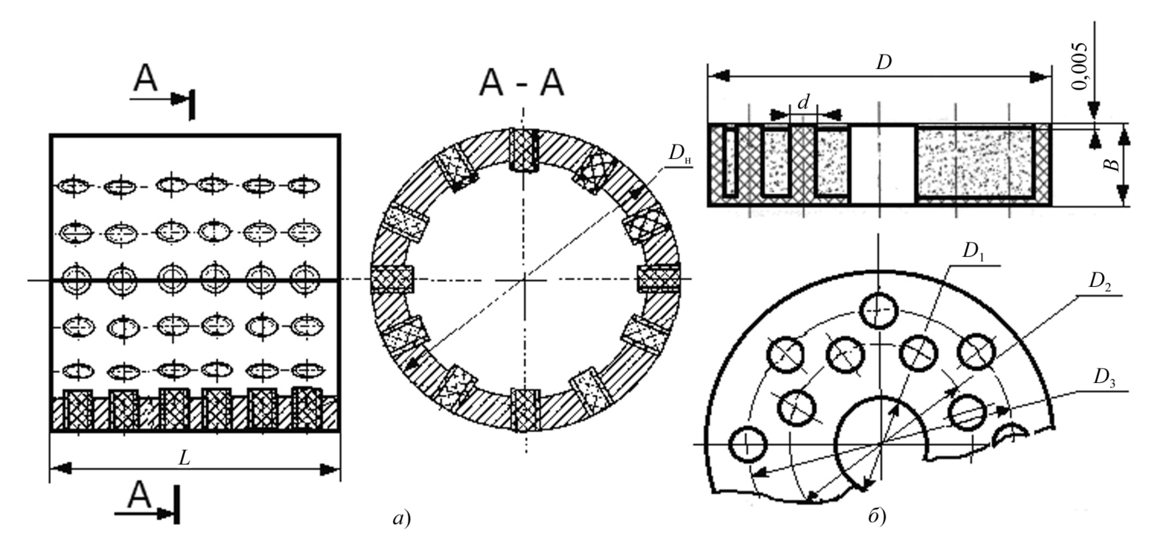


Рис. 1. Полимерпорошковые подшипники: *а* – радиальный; *б* – упорный; *D* – диаметр подшипника; *d* – диаметр полимерной вставки; D_1 – диаметр резервуара для запасов смазки; D_2, D_3 – диаметры кольцевых рядов вставок; $D_н$ – наружный диаметр радиального подшипника; *B* – ширина подшипника

Таким образом, рабочая поверхность подшипника является составной, а сам подшипник представляет собой макрокомпозит, в котором в порошковой матрице (ЖГр1, 5Д2, 5К0,8) закреплены полиамидные (П-6) вставки.

Технология изготовления порошковых заготовок подшипников включает стандартные операции: формование и спекание. Для радиальных подшипников таким способом изготавливают втулки, а для упорных – диски с центральным отверстием. Далее в порошковой матрице сверлят отверстия и нарезают резьбу. Заготовки подшипников устанавливают в литьевую пресс-форму, и все отверстия одновременно заливают заподлицо термопластичным полимером. Затем рабочую поверхность подшипников обрабатывают поверхностным пластическим деформированием: радиальные подшипники – дорнованием [4], упорные – выглаживанием [5]. Дорнование выполняется с относительными натягами 0,0010–0,0015, а выглаживание с нормальным усилием 1,2–2,0 кН. В обоих случаях пористая матрица, уплотняясь, деформируется пластически, а полиамидные вставки испытывают стесненную упругую деформацию. В результате на рабочей поверхности подшипников образуются полимерные выступы требуемой высоты. Готовые подшипники пропитывают жидким смазочным материалом (Тп-22С) на специальной установке.

Методика. Экспериментальные исследования оптимальной макроструктуры поверхности полимерпорошковых упорных подшипников выполняли на машине трения модели Т-11, а радиальных – на специальном стенде (рис. 2).

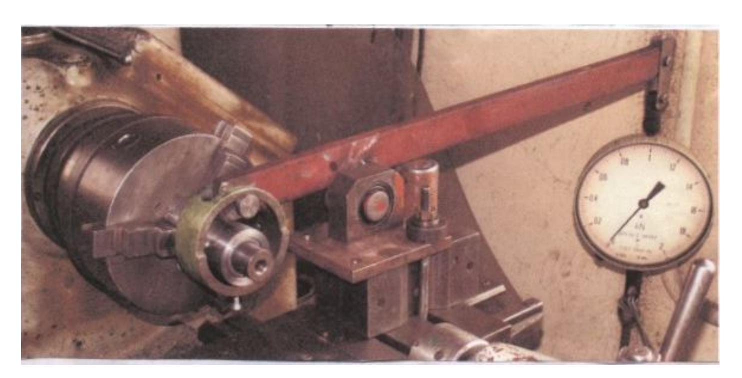


Рис. 2. Испытательный стенд для радиальных подшипников

Стенд смонтирован на токарно-винторезном станке модели Е400-1000. С его помощью можно определять температуру поверхности контакта (термопара ХК), силу трения (пьезоэлектрический датчик PZT-5) и ресурс подшипника.

Машина трения позволяет выводить на дисплей компьютера, сохранять и распечатывать протоколы испытаний с информацией о силе трения, температуре в зоне контакта и толщине смазочной пленки.

Примеры образцов исследуемых полимерпорошковых подшипников представлены на рис. 3.

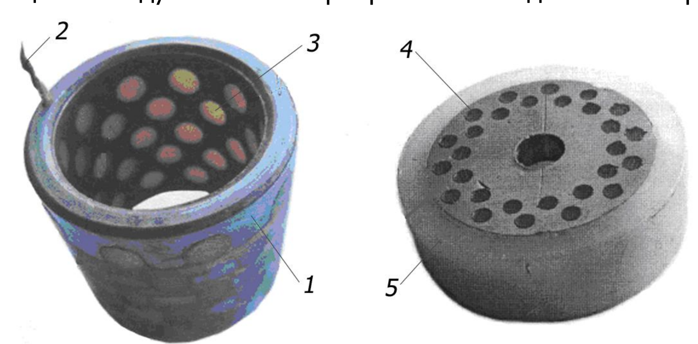


Рис. 3. Экспериментальные образцы подшипников:
1, 5 – порошковая матрица; 2 – термопара; 3, 4 – полимерные вставки

Все экспериментальные исследования реализовывались по полнофакторным 2-уровневым рототабельным линейным и квадратичным экспериментальным планам, а их результаты статистически обрабатывались.

Результаты исследований. Основное влияние на ресурс подшипников оказывают условия контактирования, определяемые, в первую очередь, соотношением на рабочей поверхности площадей полимера и порошковой матрицы. Это соотношение оценивается коэффициентом топологии, определяемым выражением

$$K = S_п/S, \quad (1)$$

где $S_п$ и S – соответственно суммарная площадь полимерных вставок и площадь всего подшипника.

В качестве критерия оптимальности коэффициента топологии принимается минимальное значение силы или коэффициента трения.

Результаты экспериментальных исследований на машине трения позволили получить для упорных подшипников адекватную модель зависимости силы трения от коэффициента топологии и параметра нагружения в следующем виде:

$$F = 4{,}318 - 16{,}724K + 0{,}725(PV) + 16{,}057K^2 + 2{,}08K(PV), \quad (2)$$

где (PV) – параметр нагружения, МПа·м/с.

Для радиальных полимерпорошковых подшипников аналогичная регрессионная модель для коэффициента трения получена по результатам стендовых исследований:

$$f = 0{,}106 - 0{,}259K - 0{,}007\sigma + 0{,}266K^2 + 0{,}008K\sigma, \quad (3)$$

где σ – контактное напряжение, МПа.

Графическая интерпретация моделей зависимости (2) приведена на рис. 4.

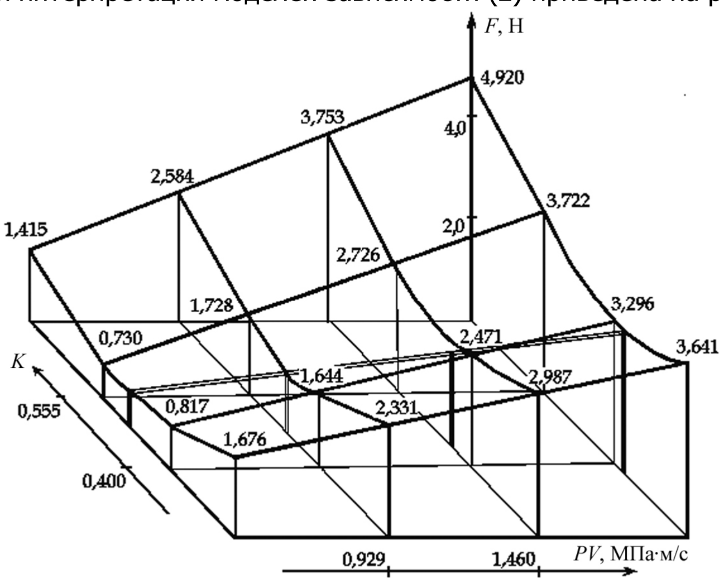


Рис. 4. Оптимум коэффициента топологии

Исследования на экстремум выражений (1) и (2) позволили получить зависимости оптимального значения коэффициента топологии от нагрузочных параметров:

– для упорных подшипников

$$K = [16{,}724 - 2{,}08(PV)]/32{,}114; \quad (4)$$

– для радиальных

$$K = [0{,}259 - 0{,}008(PV)]/0{,}533. \quad (5)$$

Расчеты показывают, что коэффициент топологии в исследованном диапазоне нагрузок для упорных подшипников находится в интервале 0,4–0,5, а для радиальных – в интервале 0,42–0,46 и изменяется аналогично в зависимости от нагрузки, уменьшаясь с ее ростом.

Дополнительным подтверждением наличия оптимума коэффициента топологии является максимум толщины стабильной смазочной пленки *H*, измеренной при исследованиях на машине трения Т-11 (рис. 5).

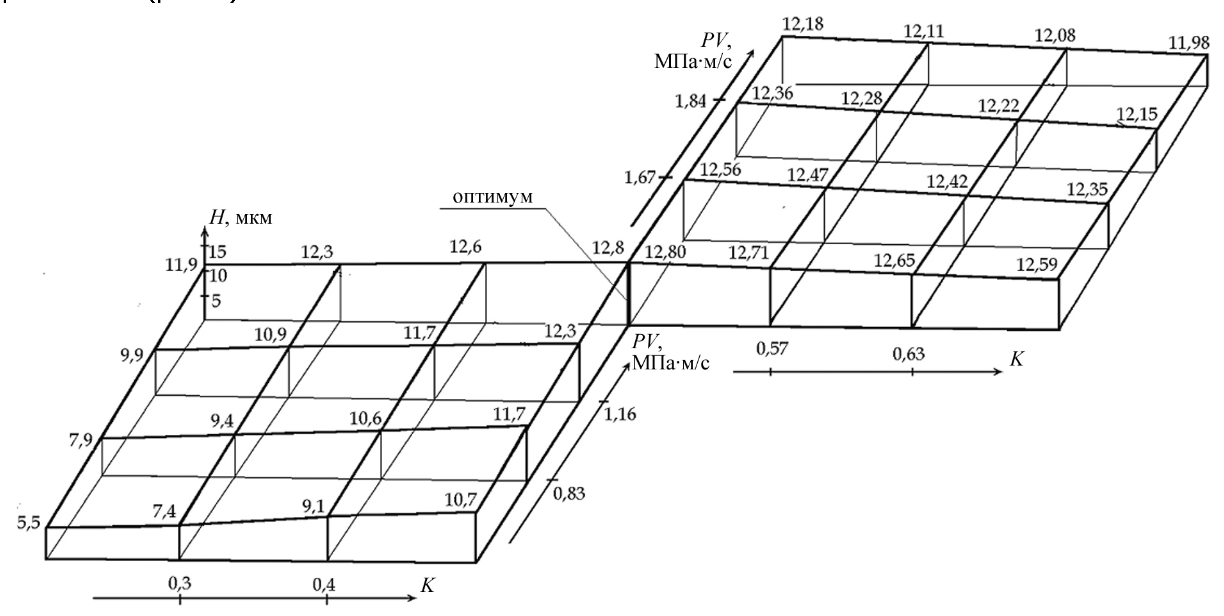


Рис. 5. Влияние коэффициента *K* и параметра нагрузки (*PV*) на толщину масляной пленки (масло Тп-22С)

Здесь использован метод перевала и получены две модели со средней погрешностью 2,1 %:

$$H = 15{,}0(PV)^{-0{,}24}K^{0{,}32 - 1{,}34\lg(PV)}, H = 13{,}25(PV)^{-0{,}17}K^{-90{,}05 + 0{,}22\lg(PV)}. \qquad (6)$$

Следует отметить, что поверхность отклика в области экстремума имеет малую кривизну и поэтому можно говорить об экстремальной зоне с толщиной смазочной пленки до 12,7 мкм. Тогда наибольшую толщину пленки масла обеспечивает коэффициент топологии, равный 0,45–0,50.

Физический смысл полученных закономерностей состоит в следующем. Слишком малая площадь полимерных вставок не обеспечивает достаточной несущей способности подшипника, так как деформируясь, не препятствует возникновению в зоне трения металлического контакта «вал – втулка». Это ограничение значения коэффициента топологии снизу. С другой стороны, слишком большая площадь полимерных вставок ограничивает маслоемкость порошковой матрицы и масловыделение, что существенно снижает ресурс работы подшипника в условиях самосмазывания. Это ограничение значения коэффициента топологии сверху.

Учитывая имеющиеся погрешности экспериментальных результатов, и то, что с изменением *K* в пределах 10 % сила трения колеблется всего в пределах 7,1 %, причем с ростом нагружения чувствительность силы трения к вариациям коэффициента *K* снижается, считаем, что рекомендуемое значение $K_{опт}$ составит 0,45±0,05.

Стендовые испытания и промышленная проверка в опорах специализированного смесителя эпоксидных компаундов полимерпорошковых подшипников подтвердили полученные результаты. Ресурс разработанных полимерпорошковых подшипников в сравнении со стандартными порошковыми увеличился в 2,5 раза.

Выводы. 1. Разработаны новые (патенты 2008–2009 гг.) макрокомпозиционные полимерпорошковые подшипники скольжения, обеспечивающие существенное повышение ресурса при их эксплуатации.

2. В результате триботехнических исследований установлено оптимальное соотношение площадей полимерных вставок и порошковой матрицы на рабочей поверхности подшипника в зависимости от уровня режимов нагружения.

3. Полученное оптимальное значение коэффициента топологии обеспечивает повышенное выделение смазочного материала, стабильную толщину масляной пленки и низкое значение силы трения.

4. Промышленные испытания упорного полимерпорошкового подшипника подтвердили его высокие триботехнические характеристики и ресурс работы в режиме самосмазывания.

Библиографический список

1. Зозуля В.Д. Эксплуатационные свойства порошковых подшипников. / В.Д. Зозуля. – Киев: Наук. думка, 1989. – 288 с.

2. Пат. 87478 Российская Федерация, МПК F 16C 17/04. Упорный подшипник скольжения / С.Н. Шевцов, И.Б. Сайко, В.А. Кохановский, И.В. Овечкин. – № 2009122006/22 ; заявл. 08.06.09 ; опубл. 10.10.09 ; Бюл. № 28.

3. Пат. 83303 Российская Федерация, МПК F 16C 33/04. Подшипник скольжения / С.Н. Шевцов, И.Б. Сайко, М.Б. Флек, А.А. Клименко, В.В. Сибирский. – № 2008144976 ; заявл. 13.11.08 ; опубл. 27.05.09 ; Бюл. № 15.

4. Сайко И.Б. Повышение качества прессовой посадки подшипников скольжения из спеченных порошковых материалов / И.Б. Сайко, И.А. Зориев, С.Н. Шевцов // Изв. Волгогр. техн. ун-та. Сер.: Прогрессивные технологии в машиностроении. – Волгоград, 2006. – № 4(19). – С. 56.

5. Овечкин И.В. Конструкторско-технологическое обеспечение триботехнических характеристик металлополимерных упорных подшипников скольжения / И.В. Овечкин // Тр. I междунар. науч.-техн. конф. «Совершенствование существующих и создание новых технологий в машиностроении и авиастроении», 1–3 июня 2009 г. / ЮНЦ РАН – ОАО «Роствертол». – Ростов н/Д, 2009. –
С. 235–244.

Материал поступил в редакцию 15.06.10.

References

1. Zozulya V.D. Ekspluatacionnye svoistva poroshkovyh podshipnikov. / V.D. Zozulya. – Kiev : Nauk. dumka, 1989. – 288 s. – in Russian.

2. Pat. 87478 Rossiiskaya Federaciya, MPK F 16S 17/04. Upornyi podshipnik skol'jeniya / S.N. Shevcov, I.B. Saiko, V.A. Kohanovskii, I.V. Ovechkin. – № 2009122006/22; zayavl. 08.06.09; opubl. 10.10.09 ; Byul. № 28. – in Russian.

3. Pat. 83303 Rossiiskaya Federaciya, MPK F 16S 33/04. Podshipnik skol'jeniya / S.N. Shevcov, I.B. Saiko, M.B. Flek, A.A. Klimenko, V.V. Sibirskii. – № 2008144976 ; zayavl. 13.11.08 ; opubl. 27.05.09 ; Byul. № 15. – in Russian.

4. Saiko I.B. Povyshenie kachestva pressovoi posadki podshipnikov skol'jeniya iz spechennyh poroshkovyh materialov / I.B. Saiko, I.A. Zoriev, S.N. Shevcov // Izv. Volgogr. tehn. un-ta. Ser.: Progressivnye tehnologii v mashinostroenii. – Volgograd, 2006. – № 4(19). – S. 56. – in Russian.

5. Ovechkin I.V. Konstruktorsko-tehnologicheskoe obespechenie tribotehnicheskih harakteristik metallopolimernyh upornyh podshipnikov skol'jeniya / I.V. Ovechkin // Tr. I mejdunar. nauch.-tehn. konf. «Sovershenstvovanie suschestvuyuschih i sozdanie novyh tehnologii v mashinostroenii i aviastroenii», 1–3 iyunya 2009 g. / YuNC RAN – OAO «Rostvertol». – Rostov n/D, 2009. – S. 235–244. – in Russian.

K.G. SHUCHEV, I.A. ZORIYEV, I.V. OVECHKIN, M.S. SHEVTSOVA, S.I. IVANOV

OPTIMIZATION OF THE POLYMER-POWDERED BEARINGS CONTACTING CONDITIONS

Optimal correlation between polymer and metal-ceramic areas in the friction zone is established for the developed construction of polymer-powdered bearings with a combined working surface that can hold the grease contained in the metal matrix pores.
Key words: *friction bearing, polymer-powdered surface.*

ШУЧЕВ Константин Григорьевич (р. 1953), профессор кафедры «Инструментальное производство» Донского государственного технического университета (2008), кандидат технических наук (1984). Окончил РИСХМ (1975).
Область научных интересов – трибология, теплофизика технологических систем, резание материалов.
Автор более 70 научных работ. Имеет 3 патента.
cgshuchev@rambler.ru

ЗОРИЕВ Илья Андреевич (р. 1983), соискатель на звание кандидата технических наук по специальности «Трение и износ в машинах» на кафедре «Авиастроение» Донского государственного технического университета. Окончил ДГТУ (2006).
Область научных интересов – трение и изнашивание порошковых и полимерных композитов.
Автор 9 научных работ. Имеет 12 патентов.
iluazoriana@mail.ru

ОВЕЧКИН Игорь Викторович (р. 1982), аспирант кафедры «Технология конструкционных материалов» Донского государственного технического университета. Окончил ДГТУ (2006).
Область научных интересов – трение и износ в машинах.
Автор 10 научных работ. Имеет 1 патент.
orbitalux@mail.ru

ШЕВЦОВА Мария Сергеевна, стажер-исследователь в Южном научном центре Российской академии наук. Окончила Южный федеральный университет (2009).
Область научных интересов – моделирование полимерных композитов различного типа связности.
Автор 6 научных работ.
mariamarcs@bk.ru

ИВАНОВ Сергей Иванович (р. 1959), и. о. зав. кафедрой «Технология и оборудование сварочного производства» Таганрогского филиала Донского государственного технического университета. Окончил ДГТУ (1996).
Область научных интересов – трение и износ в машинах.
Автор 5 научных работ.
interfriends@mail.ru

Konstantin G. Shuchev (1953), Professor of the Tool Production Department, Don State Technical University (2008). Candidate of Science in Engineering (1984). He graduated from Rostov Institute of Agricultural Engineering (1975).
Research interests – tribology, thermal process systems, material cutting technology.
Author of more than 70 scientific publications and 3 patents.

Ilya A. Zoriyev (1983), Ed.D. Candidate of the Aircraft Engineering Department, Don State Technical University. He graduated from DSTU (2006).
Research interests – powdered and polymeric composites friction and deterioration.
Author of 9 scientific publications and 12 patents.
iluazoriana@mail.ru

Igor V. Ovechkin (1982), Postgraduate student of the Structural Materials Technology Department, DSTU. He graduated from Don State Technical University (2006).
Research interests – machines friction and deterioration.
Author of 10 scientific publications and 1 patent.
orbitalux@mail.ru

Maria S. Shevtsova, Research Probationer, South Scientific Centre of Russian Academy of Science. She graduated from South Federal University (2009).
Research interests – polymeric composite materials modeling.
Author of 6 scientific publications.
mariamarcs@bk.ru

Sergey I. Ivanov (1959), Acting Head of the Welding Engineering Technology and Machinery Department, Taganrog branch of Don State Technical University. He graduated from DSTU (1996).
Research interests – machine friction and deterioration.
Author of 5 scientific publications.
interfriends@mail.ru

УДК 519.242:004.023

В.В. ВОЛКОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ПОДДЕРЖКИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА АППРОКСИМАЦИИ

Описывается экспериментальная оптимизация скорости сходимости генетического алгоритма аппроксимации, выполненная с использованием специализированных научных программных средств поддержки планирования эксперимента.
***Ключевые слова**: планирование эксперимента, оптимизация, генетический алгоритм, программные средства для научных вычислений.*

Введение. В научной и инженерной практике часто возникают задачи планирования эксперимента. Чтобы эффективно спланировать, провести эксперимент, а также обработать его результаты, необходимо воспользоваться специализированными программными средствами (ПС). Обычно применяются MATLAB [1], STATISTICA [2], Design-Expert [3] и др., но перечисленные программные продукты имеют высокую стоимость, закрытый исходный код, а также не все являются кроссплатформенными, что затрудняет их применение на практике. Рассматриваются возможности эффективной комбинации свободных научных библиотек Python и созданного автором ПС EO-Support [4] на примере решения задачи экспериментального поиска оптимальных параметров одного генетического алгоритма (ГА) аппроксимации.

Описание исследуемого ГА. Рассматриваемый ГА предназначен для поиска наиболее длинного прямолинейного участка на заданной кривой и аппроксимации его отрезком (рис.1). В терминологии ГА каждый отрезок – особь, содержащая четыре гена: длина отрезка, угол наклона, координаты x и y центра отрезка. Скрещивание – обмен между двумя особями одним случайно выбранным геном. Мутация состоит в добавлении небольшой случайной величины к одному, произвольно выбранному, гену особи.

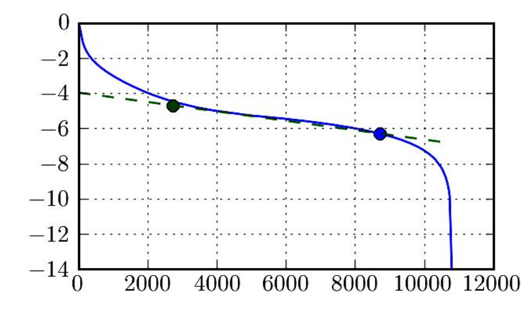


Рис.1. Пример результата работы ГА (точками обозначены границы отрезка, аппроксимирующего наиболее длинный прямолинейный участок кривой)

Постановка задачи. Скорость поиска решения является критичной характеристикой при практическом применении исследуемого ГА. На нее существенно влияют значения множества параметров алгоритма, важнейшими из которых являются вероятности мутации и скрещивания особей. Разные значения этих двух параметров (при фиксированных остальных) приводят к различной скорости сходимости ГА к искомому решению (табл.1).

Таблица 1

Количество итераций ГА, необходимых для достижения решения, близкого к оптимальному, при различных значениях вероятностей мутации и скрещивания

№ п/п	Вероятность мутации	Вероятность скрещивания	Кол-во итераций
1	0,5	0,5	24
2	0,85	0,3	28
3	0,4	0,4	26
4	0,6	0,4	25

В связи с этим возникает задача поиска оптимальных или близких к ним значений конфигурационных параметров ГА, обеспечивающих наибольшую скорость сходимости алгоритма. Поскольку ГА является разновидностью эвристических алгоритмов, решение данной задачи возможно только методом экспериментального исследования.

Определение условий эксперимента. В качестве управляемых факторов x_1 и x_2 выбраны значения соответственно вероятностей мутации и скрещивания. Другие основные параметры ГА: размер популяции – 2000 особей; отношение размера селекции к размеру популяции – 0,6; используемый алгоритм селекции – турнирный отбор с численностью турнира $k = 2$.

В качестве критерия оптимизации, который должен отражать скорость сходимости алгоритма, принято количество итераций, необходимых для получения решения, близкого к оптимальному. Количество итераций берется с отрицательным знаком для приведения к задаче максимизации функции отклика.

Восхождение по поверхности отклика. Поставлен первый полный факторный эксперимент (ПФЭ) в области факторного пространства, обозначенной *1* на рис.2. В каждой точке плана проводилось по 20 параллельных опытов. Полученная линейная модель $y = -26{,}55 - 3{,}45x_1 + 0{,}8x_2$, предоставила информацию о направлении роста функции отклика. Выполнено несколько шагов восхождения по поверхности отклика (пунктирная линия на рис.2) в сторону градиента функции. Вычисление коэффициентов модели, проверка ее адекватности, а также расчет траектории восхождения выполнялись средствами ПС EOSupport.

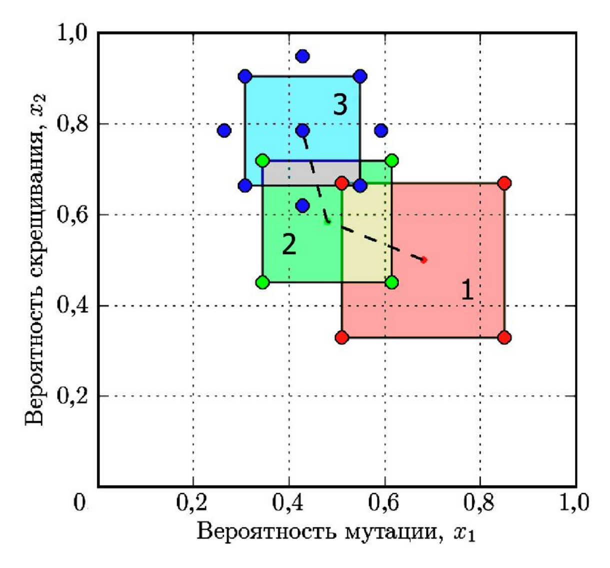


Рис. 2. Расположение областей экспериментов
в факторном пространстве

Для автоматизации эксперимента использовались скрипты, написанные на языке Python, с применением библиотеки для работы с матрицами NumPy [5], что позволило производить вычисления со скоростью, не уступающей скорости мощной вычислительной среды MATLAB [6].

В области, обозначенной *2* на рис.2, был поставлен второй ПФЭ и получена новая линейная модель $y = -23{,}19 - 0{,}058x_1 + 0{,}81x_2$. Снова были выполнены шаги восхождения по поверхности отклика, в результате чего была достигнута область предполагаемого оптимума.

Планы для всех экспериментов были сгенерированы при помощи ПС EOSupport, которое предоставляет пользователю удобный интерфейс для выбора количества факторов, интервалов их варьирования и типа генерируемого плана эксперимента. На рис.3 представлено диалоговое окно выбора параметров плана.

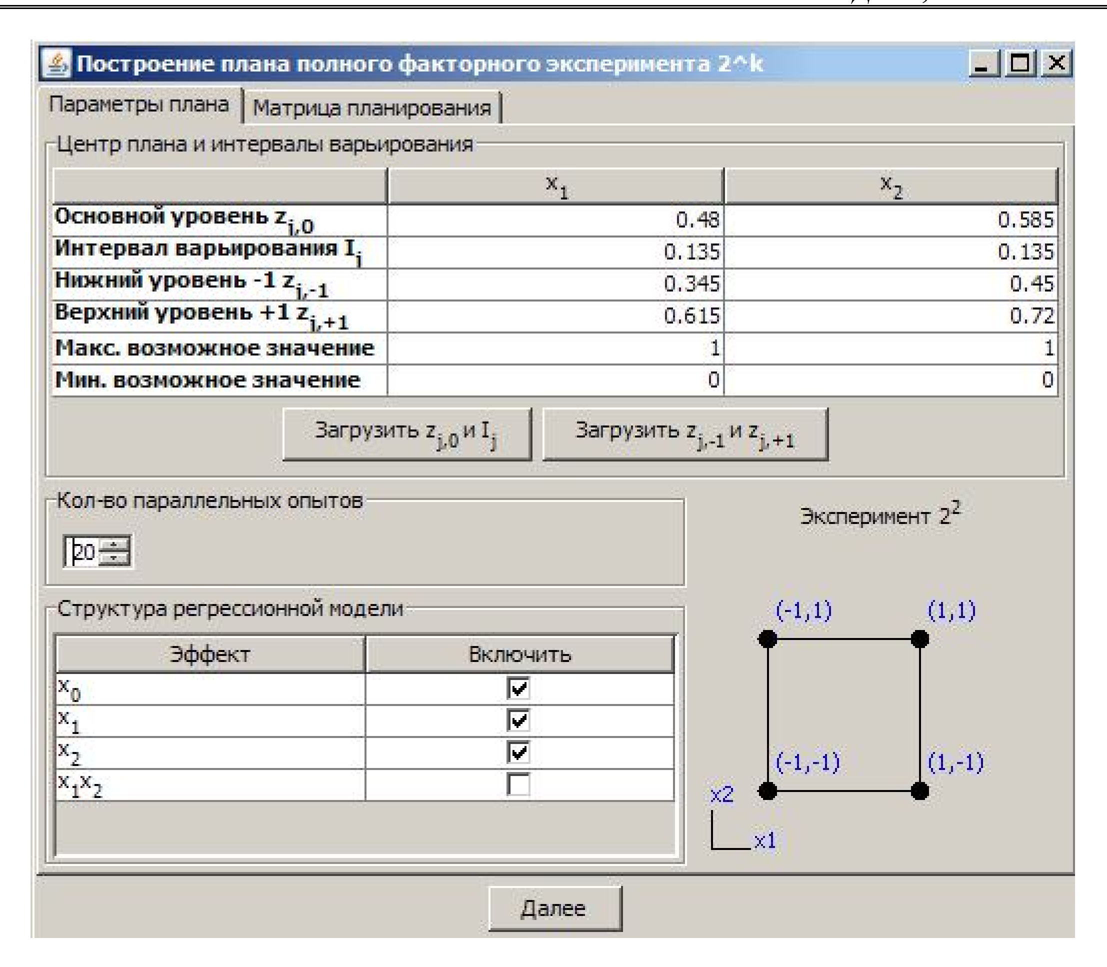


Рис.3. Окно программы EOSupport для подготовки ПФЭ

Описание экстремальной области. В силу того, что достигнутая подобласть факторного пространства (обозначенная *3* на рис.2) практически вплотную приблизилась к допустимой границе, было решено провести заключительный эксперимент на основе центрального композиционного плана (ЦКП). Для повышения точности результата было увеличено количество параллельных опытов до 30. В табл.2 представлена использованная матрица планирования, а также результаты опытов (где $\bar{y}$ – среднее значение отклика по параллельным опытам).

Таблица 2

Матрица планирования ЦКП и результаты проведенных измерений

№	x_1	x_2	$\bar{y}$	№	x_1	x_2	$\bar{y}$
1	1	1	–23,73	9	0	0	–22,57
2	–1	1	–21,87	10	0	0	–21,2
3	1	–1	–23,53	11	0	0	–23,03
4	–1	–1	–22,27	12	0	0	–23,17
5	–1,369	0	–27,07	13	0	0	–21,33
6	1,369	0	–24,73	14	0	0	–21,7
7	0	–1,369	–23,63	15	0	0	–22,33
8	0	1,369	–21,77	—	—	—	—

Анализ результатов. Полученная в результате эксперимента ЦКП квадратичная модель после удаления незначимых коэффициентов в кодированных величинах факторов имеет следующий вид:

$$y = -22{,}13 + 0{,}36x_2 - 0{,}15x_1x_2 - 1{,}54x_1^{\ 2}.$$

График данной модели представлен на рис.4. Все графики данной статьи были построены при помощи специализированной библиотеки Matplotlib [7] для языка Python, имеющей богатые возможности в области визуализации данных.

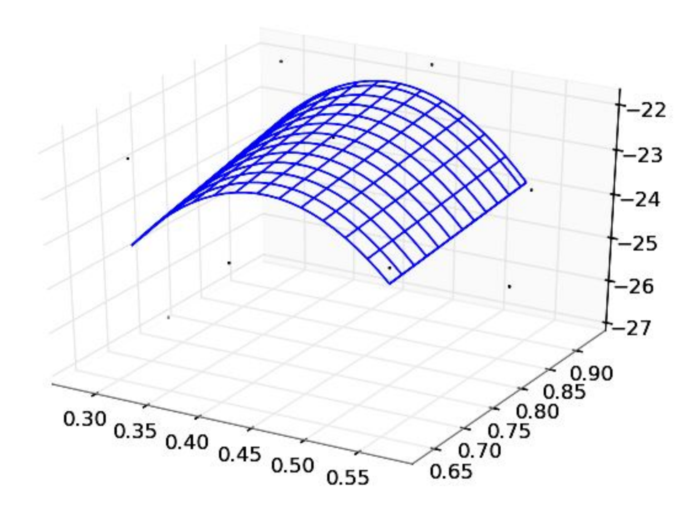


Рис.4. График квадратичной модели поверхности отклика
в области в натуральных величинах факторов

Из анализа полученной квадратичной модели следует, что оптимальные значения вероятностей мутации и скрещивания находятся в следующих интервалах: x_1: 0,35–0,4; x_2: 0,9–1,0. Серия дополнительных опытов показала, что значение функции отклика в данной области соответствует в среднем 22 итерациям, что является объективным улучшением результатов (табл.1).

Выводы. Были исследованы свойства специализированного ГА аппроксимации, определены близкие к оптимальным значения его основных параметров, позволяющие получить наибольшую скорость сходимости. Показана эффективность применения в научной деятельности свободных программных средств на основе языка Python в сочетании с ПС EOSupport.

Библиографический список

1. MATLAB Statistics Toolbox: Product overview page [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mathworks.com/products/statistics, 2010.

2. STATISTICA Data Miner: Overview of software product [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.statsoft.com/products/statistica-data-miner, 2010.

3. Stat-Ease: Software overview [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.statease.com/software.html, 2010.

4. Волков В.В. Планирование эксперимента и обработка результатов при помощи программного средства EOSupport / В.В. Волков // Вестник ДГТУ. – 2008. – Т. 8. – № 2 (37).

5. Scientific Computing Tools For Python: NumPy: офиц. сайт разработчиков. – Режим доступа: http://numpy.scipy.org, 2009.

6. Performance Python: A comparison of weave with NumPy, Pyrex, Psyco, Fortran (77 and 90) and C++ for solving Laplace's equation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.scipy.org/PerformancePython, 2009, нояб.

7. Matplotlib: Python plotting: офиц. сайт разработчиков. – Режим доступа: http://matplotlib.sourceforge.net, 2008.

References

1. MATLAB Statistics Toolbox: Product overview page - http://www.mathworks.com/products/statistics, 2010.
2. STATISTICA Data Miner: Overview of software product - http://www.statsoft.com/products/statistica-data-miner, 2010.
3. Stat-Ease: Software overview - http://www.statease.com/software.html, 2010.
4. Volkov V.V. Planirovanie eksperimenta i obrabotka rezul'tatov pri pomoschi programmnogo sredstva EOSupport / V.V. Volkov // Vestn. DGTU. – 2008. – T. 8. – № 2 (37). - in Russian.
5. Scientific Computing Tools For Python: NumPy: - http://numpy.scipy.org, 2009.
6. Performance Python: A comparison of weave with NumPy, Pyrex, Psyco, Fortran (77 and 90) and C++ for solving Laplace's equation - http://www.scipy.org/PerformancePython, 2009, нояб.
7. Matplotlib: Python plotting: - http://matplotlib.sourceforge.net, 2008.

Материал поступил в редакцию 16.06.10.

V.V. VOLKOV

APPLICATION OF THE SOFTWARE TOOLS EXPERIMENTAL DESIGN FOR THE GENETIC APPROXIMATION ALGORITHM PARAMETER OPTIMIZATION

Experimental optimization of convergence rate of the genetic approximation algorithm accomplished with the application of the specialized scientific design of experiments software tools is described.

Key words: design of experiments, optimization, genetic algorithm, software tools for scientific computing.

ВОЛКОВ Виталий Витальевич (р. 1984), старший преподаватель кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Донского государственного технического университета, аспирант. Окончил факультет «Автоматизация и информатика» Донского государственного технического университета (2007).

Область научных интересов: теория информационных процессов и систем, эволюционные алгоритмы, планирование эксперимента.

Автор 15 публикаций.

Имеет 1 авторское свидетельство.

vitvlkv@gmail.com

Vitaly V. VOLKOV (1984), Senior Lecturer of the Computer Software and Automated Systems Department, Don State Technical University, postgraduate student. He graduated from the Information Technology and Automation Faculty, Don State Technical University (2007).

Research interests: information processes and systems theory, evolutionary algorithms, design of experiments.

Author of 15 scientific publications and 1 certificate of authorship.

vitvlkv@gmail.com

УДК 004.93

Р.А. НЕЙДОРФ, А.А. ДЕРЕВЯНКИНА

РЕШЕНИЕ МНОГОЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗАДАЧ МЕТОДОМ ДЕЛЯЩИХСЯ РОЕВ

Описан подход к решению задач исследования многоэкстремальных зависимостей для поиска нескольких экстремумов одновременно, таких, как определение нескольких равнозначных глобальных экстремумов и выделение, наряду с глобальным, наиболее значимых локальных экстремумов. Показана эффективность применения для решения таких задач модифицированного метода роящихся частиц.
Ключевые слова: *поисковая оптимизация, экстремум, многоэкстремальность, параметрическое пространство, эвристические алгоритмы, метод роящихся частиц, критерий оптимизации.*

Введение. Множество функций, которые соответствуют пространствам поиска реальных практических задач, являются сложными, т.е. имеют определенные особенности, которые усложняют поиск экстремумов. К таким особенностям относят: множество равнозначных экстремумов; наличие большого медленно убывающего плато, что затрудняет нахождение глобального экстремума; множество локальных экстремумов и т.д. Для проверки эффективности поисковых методов были построены тестовые функции, которые включают одну из перечисленных особенностей, и при этом имеются подробные описания их графиков и известные значения экстремумов. К ним, например, относят: функцию Химмельблау, функцию Розенброка, функцию Растригина, функцию Нейдорфа и т.д.

Постановка задачи. Большинство современных методов поиска экстремумов ориентированы на одноэкстремальные функции. Поэтому при поиске минимумов и максимумов многоэкстремальных функций приходится создавать дополнительные алгоритмы, ориентированные на определенную функцию. Таким образом, для исследования многоэкстремальных функций необходим обобщенный метод, позволяющий находить либо все экстремумы, либо группы экстремумов, удовлетворяющих определенным условиям.

Среди эвристических алгоритмов был выбран метод, наиболее подходящий для решения координатных экстремальных задач, а именно, канонический метод роящихся частиц (КМРЧ). Исследователи, основываясь на законах механики движения, предложили его модификацию для приближения предлагаемой математической модели к описанию поведения роя в природе (учитывая биологические и социальные признаки) и алгоритм, позволяющий исследовать многоэкстремальные поверхности [1].

Метод делящихся роев (МДР). В КМРЧ частица в каждый момент времени, т.е. на всех итерациях расчета t, характеризуется вектором координат $x_{i,t}$, определяющими ее положение, векторами скорости $V_{i,t}$ и ускорения [2]. Далее в каждой точке $x_{i,t}$ вычисляется значение целевой функции (критерия оптимизации) $Q_{i,t}(x_{i,t})$ (где i – номер частицы). Исходя из полученного значения Q по заданным правилам, частица меняет направление и значение ускорения, что влечет изменение скорости и положения. Закон изменения скорости частицы выражается в виде уравнения:

$$V_{i,t+1} = \alpha V_{i,t} + U[0,\beta] \otimes (x_{i,t}^{b} - x_{i,t}) , \quad (1)$$

где x^b – вектор координат частицы с наилучшими значениями целевой функции $Q(\circ)$, заданной в виде функциональной зависимости $f(\{x_i\})$; $U\,[0,\beta]$ – вектор псевдослучайных чисел, равномерно распределенных в интервале $[0, \beta]$; α – свободный параметр, определяющий инерционное свойство частицы; $V_{i,t}$ – скорость i-й частицы в t-й момент условного времени.

Закон изменения положения частицы выражается в виде уравнения:

$$x_{i,t+1} = x_{i,t} + V_{i,t+1} . \quad (2)$$

С целью применения КМРЧ к многоэкстремальным функциям выполняется его модификация в МДР. Первая модификация связана с введением понятия «антисоциальной» частицы. Такие частицы двигаются в противоположную сторону от центра притяжения, что позволяет обнаружить другие локальные и глобальные экстремумы, иными словами, это частица глобального поис-

ка, повышающая эффективность обнаружения экстремумов и снижающая риск зацикливания на локальном экстремуме.

Вторая модификация связана с организацией параллельного роения нескольких роев. При обнаружении «антисоциальной» частицей области предположительного экстремума она становится центром нового роя, т.е. запускается параллельный процесс роения. Обычно новый рой имеет такие же характеристики, как и предыдущий.

В МДР рой характеризуется двумя радиусами: исходный построенного роя R^b и минимальный, т.е. создается не центр, а область притяжения роя на некотором расстоянии $\left|R^e\right|$ от точки с координатами частицы.

Введенные модификации нашли отображение в математической модели КМРЧ. Уравнение закона изменения положения частицы (2):

$$x^k_{i,j,t+1} = x^k_{i,j,t} + V^k_{i,j,t+1}\Delta t\,; \quad k = \overline{1, K_t}\,, \tag{3}$$

где K_t – количество роев, образовавшихся к t-у этапу; Δt – темп поиска, введенный в рассмотрение для облегчения настройки процесса поиска; k – номер роя.

Уравнение изменения скорости (1) принимает вид

$$V^k_{i,j,t+1} = V^k_{i,j,t} + A^k_{i,j,t}\Delta t\,; \; k = \overline{1, K_t}\,, \tag{4}$$

где A – общее ускорение частицы, которое определяется действием различных сил (сила притяжения и торможения):

$$A^k_{i,j,t} = \mu Ap^k_{i,j,t} + \mu Atr^k_{i,j,t}\,, \tag{5}$$

где μ – коэффициент «социальности» поведения частицы, μ = +1 – для «социальных» частиц, т.е. частиц локального поиска, и μ = –1 – для «антисоциальных» частиц, т.е. частиц глобального поиска; p – коэффициент силы притяжения; tr – коэффициент силы торможения.

В формуле (5) каждая составляющая ускорения рассчитывается с учетом флуктуирующего параметра на основе случайной функции с симметричным распределением относительно номинала его настройки

$$r(\lambda,\varepsilon) = \lambda\left[1 + 2\varepsilon(\text{rnd}(1) - 0{,}5)\right], \tag{6}$$

где λ – номинальное значение флуктуирующего параметра; ε – отклонение от номинального значения.

Таким образом, результирующее уравнение закона изменения скорости для частицы локального поиска (ЧЛП) и частицы глобального поиска (ЧГП) имеет вид

$$V^k_{i,j,t+1} = V^k_{i,j,t} \pm \left[\left(x^{k,\text{extr}}_{j,t} - R^{k,e}_{i,j,t}\right) r_c\left(\lambda_c,\varepsilon_c\right) - x^k_{i,j,t}\right] r_p\left(\lambda_p,\varepsilon_p\right) \pm V^k_{i,j,t} r_t\left(\lambda_t,\varepsilon_t\right), \tag{7}$$

где $r_c(\lambda_c,\varepsilon_c)$ - обеспечивает неоднозначность положения центра притяжения; $r_p(\lambda_p,\varepsilon_p)$ – обеспечивает неоднозначность величины ускорения; $r_t(\lambda_t,\varepsilon_t)$ – обеспечивает неоднозначность величины коэффициента трения; $x^{k,\text{extr}}_{j,t}$ – j-я координата наилучшего по критерию Q положения точек k-го роя за всю историю его движения от 0 до t; $R^{k,e}_{i,j,t}$ - проекция отрезка вектора $x^{k,\text{extr}}_{j,t} - x^k_{i,j,t}$ длиной $\left|R^e\right|$ на j-ю ось параметрического пространства поиска.

В результате роения исходного роя по законам изменения (3) и (7) ЧЛП будет найден один из экстремумов. В процессе роения заданный процент ЧЛП-частиц на определенное время становятся ЧГП, что позволяет осуществить поиск областей предположительного нахождения других экстремумов и построить новые рои, которые начнут свое параллельное роение независимо от стартового. В результате параллельно с исходным может роиться любое количество роев, каждый из которых может либо найти новый экстремум, либо сместиться в зону роения другого. Это приводит к объединению обоих роев в один.

Таким образом, МДР позволяет выполнить эффективный поиск множества экстремумов сложных функций. Результативность МДР иллюстрируется примерами его применения для нахождения экстремумов тестовых функций.

Примеры применения МДР для поиска экстремумов сложных функций. Особенность всех эвристических алгоритмов заключается в невозможности использования математического исследования их свойств и выработки эффективных настроек. В связи с этим исследование таких алгоритмов осуществляется методами имитационного моделирования на статистически значимых выборках вариантов объектов оптимизации. Таким образом, исследование МДР происходит в процессе его применения для решения задачи поиска экстремумов усложненной одномерной функции Нейдорфа и двумерной функции Химмельблау на заданном диапазоне.

При исследовании функций для одного опыта строится 50 случайно сформированных роев с заданным начальным радиусом R_b и различными центрами. Процесс роения для каждого роя происходит за заданное число итераций N_{all}, $N_{all} = 200$.

Метод роящихся частиц с механизмом деления роя, как и большинство эвристических алгоритмов, основывается на множестве параметров настройки, т.е. результативность метода зависит от выбранных значений этих параметров. При этом значения некоторых из этих параметров зафиксированы с расчетом на правильность выбранных значений, с учетом оценок, полученных из предыдущих опытов МРЧ. К таким параметрам относятся: деморазмер роя (m), исходный радиус роя (R_b), флуктуирующие составляющие ускорения (λ_p, ε_p), флуктуирующие составляющие трения (λ_t, ε_t), флуктуирующие составляющие центра роя (λ_c, ε_c). Кроме этого интуитивно понятно, что данные параметры не являются значимыми для МДР. В свою очередь, значения параметров – конечный радиус R_e, процент ЧГП (N_{cr}) и число итераций, на которые частица из группы ЧЛП переходит в группу ЧГП (H), варьируются, так как они напрямую связаны с объектом исследования и являются ключевыми в МДР. Поэтому для оценки влияния R_e, N_{cr} и H на результирующее решение по трем критериям и совместного влияния всех параметров проводится полнофакторный эксперимент (ПФЭ). Исследование по критериям оценки проводится по результатам роения 50 роев ($N_П = 50$), состоит из 5 независимых опытов для каждого из 8 различных условий. В итоге необходимо провести 2000 опытов, что позволит оценить устойчивость результатов и влияние случайных исходных данных на эффективность оптимизации.

При проведении ПФЭ оценка свойств МДР, по опыту проведенных исследований и сути решаемой проблемы, проводится по четырем важным и показателям:

– $E(\{\alpha_i\})$, эффективность нахождения всех точек экстремума исследуемой области. Данный критерий характеризует метод применительно к многоэкстремальным задачам. Он формируется как относительное среднее количество экстремумов, найденных МДР, заранее известному количеству экстремумов исследуемой функции;

– $S(\{\alpha_i\})$, ресурс, который определяет минимальное количество итераций, необходимых для нахождения локального экстремума. Для данного исследования он вычисляется как среднее число итераций, за которое центр роя достигает области нахождения одного экстремума, относительно общего числа итераций локального поиска, $N_{all} = 200$;

– $A(\{\alpha_i\})$, точность оценки величины экстремума, т.е. средняя оценка близости найденного значения оптимума к заранее известному при тестировании значению экстремума;

– $Sg(\{\alpha_i\})$, глобальный ресурс, определяет количество итераций, за которое будут найдены все экстремумы. Он вычисляется как среднее количество итераций, за которое центры множества роев достигли области нахождения всех экстремумов к числу найденных экстремумов.

При этом эффективность метода является ключевым критерием, а три остальных – вспомогательными и могут накладывать дополнительные ограничения на значения параметров, если они не противоречат результатам оценки по критерию E.

Пример 1. Исследование многоэкстремальной одномерной функции.

Для исследования выбрана следующая функция Нейдорфа, график которой изображен на рис.1:

$$y(x) = \frac{(1-x)^2 + 15\sin(1{,}1x + 2)}{\sqrt{x^2 + 0{,}5}}. \qquad (8)$$

Исследование функции проводится на интервале $x \in [-20,20]$, где функция имеет 6 минимумов: (–13,72; 15,22), (–8,38; 9,03), (–2,83; 0,42), (2,04; –5,7); (7,64; 4,12) и (13,01; 10,42).

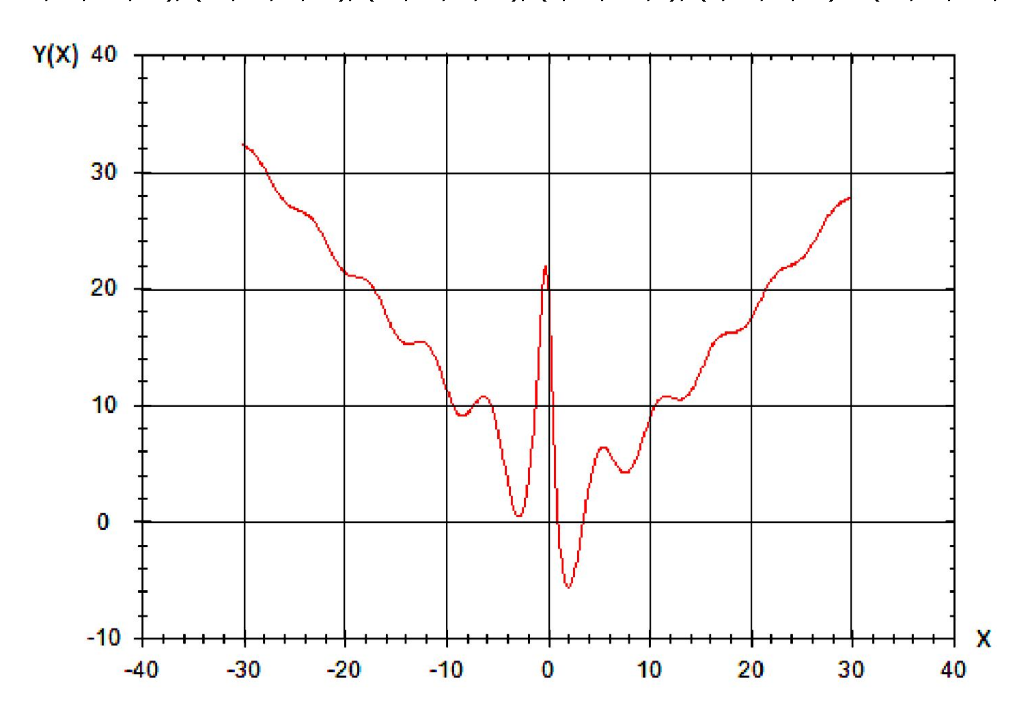


Рис.1. График функции Нейдорфа

Ставится задача нахождения экстремумов рассматриваемой функцией МДР. Для решения данной задачи были выбраны следующие параметры эксперимента: $m = 50$ частиц; $R_b = 2$ (5 % от размера пространства поиска); $\lambda_p = 0{,}06$, $\varepsilon_p = 1$; $\lambda_t = 1$, $\varepsilon_t = 0{,}7$; $|R_e| = 1, 0{,}6, 0{,}2$; $N_{cr} = 10\ \%,\ 20\ \%,\ 30\ \%$; $H = 5, 15, 20$.

Анализ результатов проведенного ПФЭ показывает, что для оптимальной эффективности МДР, т.е. нахождения всех экстремумов, необходимо установить максимальное значение параметров R_e и H. В свою очередь, оптимальные значения по другим критериям оценки получаются при минимальном значении параметра N_{cr}. Таким образом, в качестве эффективных значений факторов, при которых достигаются лучшие значения по всем критериям, выбираются: $R_e = 1$, $N_{cr} = 10$ и H = *20*.

Для уточнения полученных значений параметров настройки проводится дополнительный ПФЭ с более узкими интервалами варьирования факторов. В качестве центра плана выбирается точка эффективных значений из предыдущего ПФЭ.

В результате происходит уточнение значений параметров настройки: $R_e = 1$, $N_{cr} = 10$ и H = 25. При данном наборе факторов критерии оценки имеют следующие значения: *E=1* (найдены все 6 экстремумов), *S* = 0,043, *A* = 2,77E–07, *Sg* = 0,0304.

Процесс выполнения МДР проиллюстрирован на рис.2. По оси *X* откладываются итерации роения, а по оси Y – значения функции в центре роя на каждой итерации. Сплошными линиями

обозначены траектории движения центров роев, которые в итоге нашли экстремумы, пунктирными линиями, в свою очередь, обозначены траектории роев, которые перешли в область локализации уже найденных экстремумов. Кроме этого представлена иерархия роев, т.е. показано, сумасшедшие частицы какого роя создали следующие рои.

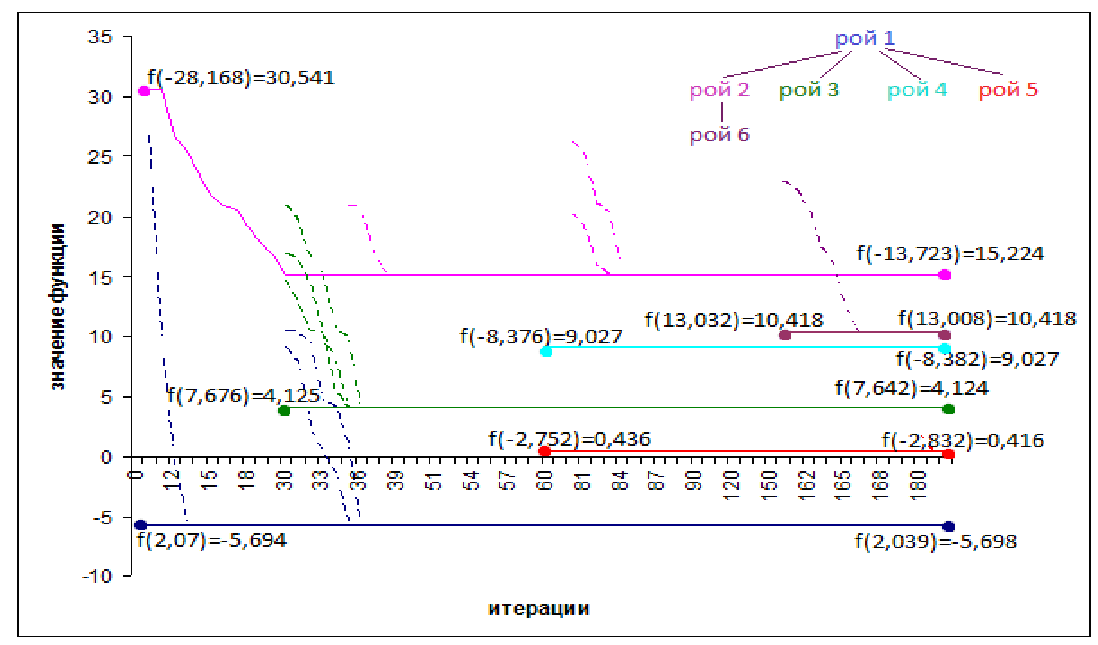


Рис.2. Графическое отображение процесса МДР

Для более наглядного представления траекторий движения роев, нашедших экстремумы, они строятся в логарифмических координатах по значению функции (рис.3).

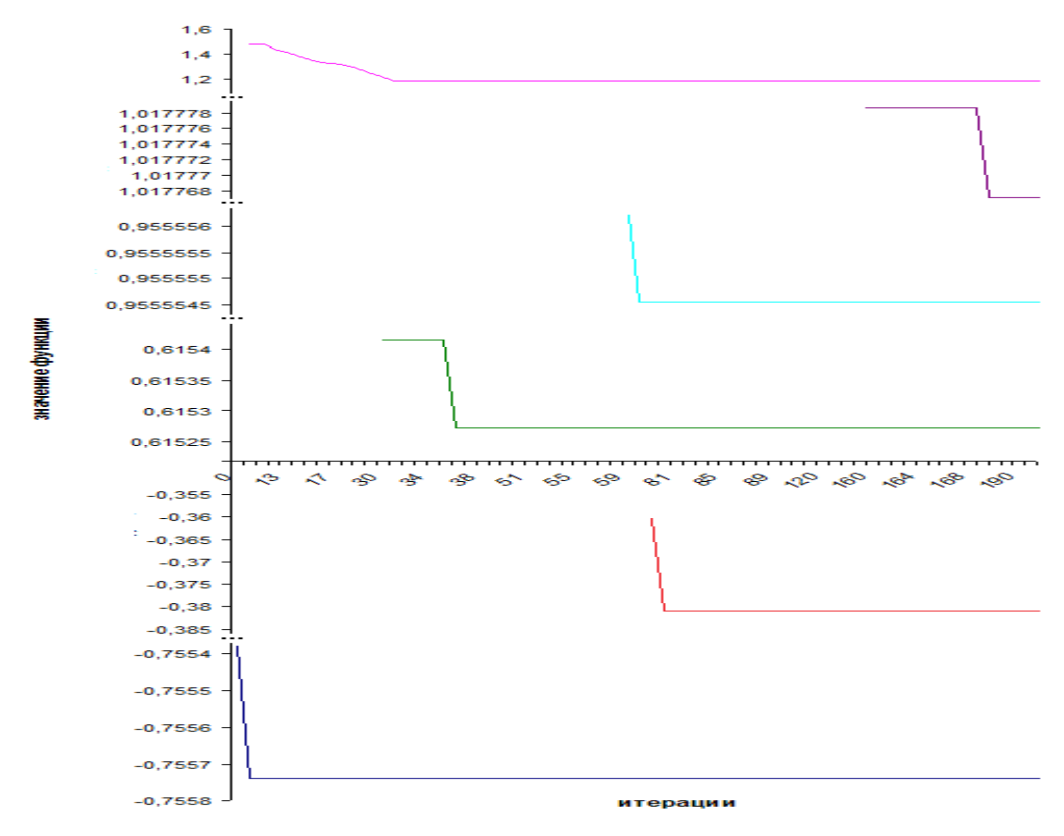


Рис. 3. Траектория движения роев в логарифмических координатах

Таким образом, показана эффективность применения МДР для нахождения экстремумов одномерной функции при определенных значениях параметров настройки.

Пример 2. Исследование двумерной функции Химмельблау (ФХ). Следующая по сложности тестовая многоэкстремальная функция Химмельблау. Она имеет четыре глобальных минимума, значения в которых равны нулю: (-2,8051; 3,1313), (-3,7793; -3,2832), (3,2), (3,5844; -1,8481). На рис.4 представлен график поверхности и линии уровня функции Химмельблау с отмеченными экстремумами.

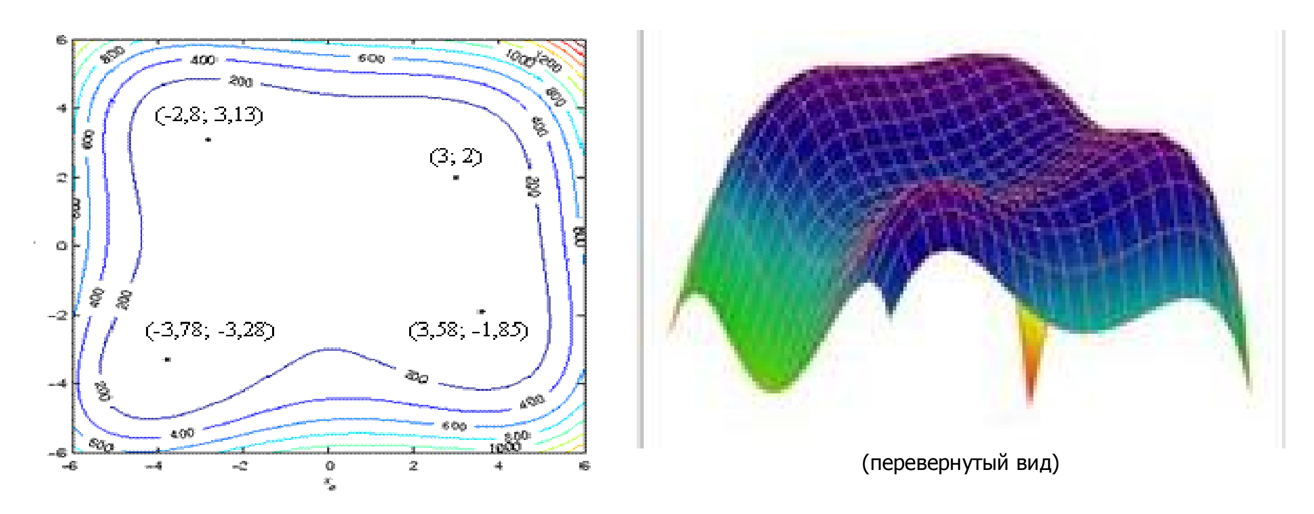


Рис.4. График поверхности и линии уровня функции Химмельблау

Для решения данной задачи выбираются следующие параметры эксперимента:

– фиксированные параметры: $m = 800$ частиц, $R_b = 6$, $\lambda_p = 0{,}5$, $\varepsilon_p = 0{,}05$, $\varepsilon_t = 0{,}071$, $\lambda_t = 0{,}71$, $\lambda_c = 1$, $\varepsilon_t = 0{,}08$;

– варьируемые параметры: N_{cr} = 10 %, 20 %, 30 %, $|R_e| = 1{,}5;\ 1;\ 0{,}5$, $H = 5, 15, 20$.

В результате проведения серии ПФЭ получается вектор эффективных значений факторов: $R_e = 1{,}5$, $N_{cr} = 30$ и H = 20. При этом получены следующие оценки критериев: *E* = 1 (найдены все 4 экстремума), *S* = 0,025, *A* = 3,944, *E* = 31, *Sg* = 0,0071.

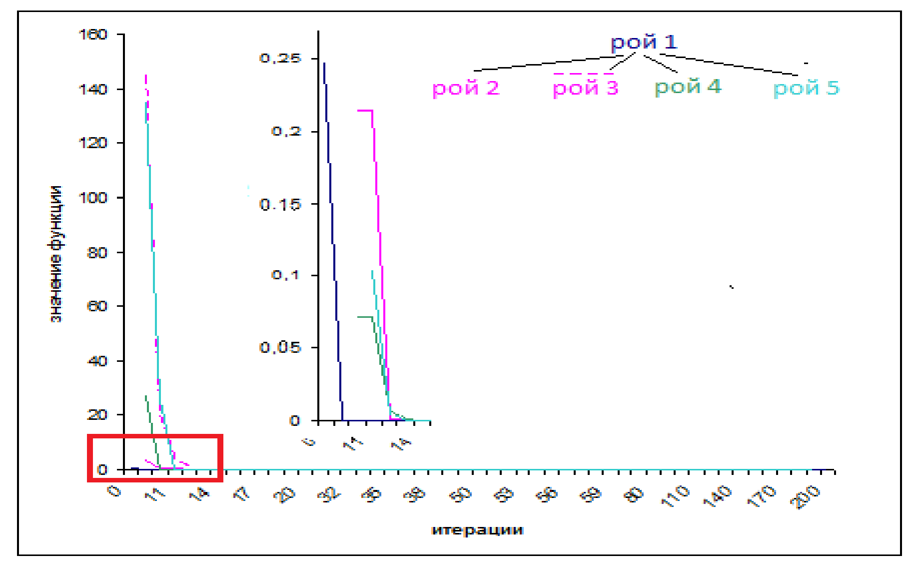


Рис.5. Процесс МДР для ФХ

Отображение процесса МДР представлено на рис.5. В связи с тем, что все экстремумы имеют нулевое значение функционала, то все центры роев находят одно и то же значение функции, но

при различных значениях аргументов. В данном случае рой 1, 2, 4 и 5 нашли глобальные минимумы, а рой 3 переместился в область локализации экстремума, который был найден роем 2. Для большей наглядности процесс деления роев представляется в логарифмических координатах по оси «Значение функции» (рис.6).

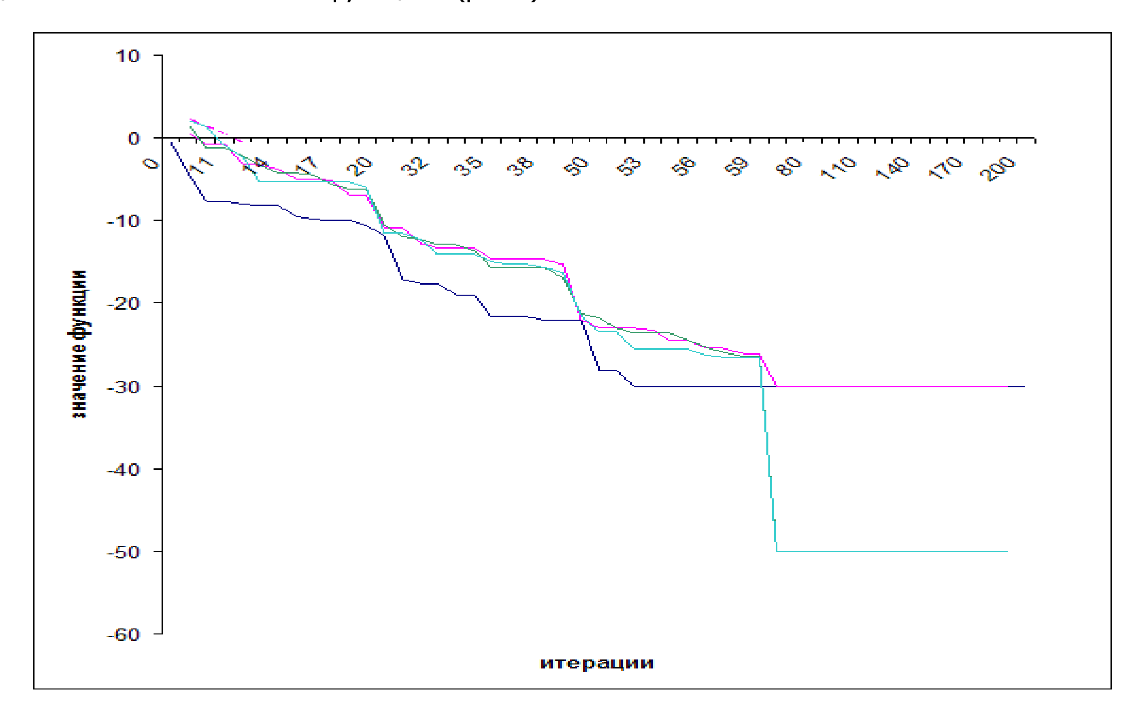


Рис.6. Процесс МДР для ФХ (в логарифмических координатах)

Заключение. Показано, что метод деления роя является эффективным инструментов для поиска множества экстремумов сложных функций, т.е. для решения многоэкстремальных задач. Эффективность МДР зависит от выбранных значений параметров настройки, которые могут отличаться при решении различных задач.

Библиографический список

1. Деревянкина А.А. Модификация и структурно-параметрическая оптимизация метода роящихся частиц для решения экстремальных задач / А.А. Деревянкина, Р.А. Нейдорф // Современные проблемы многоуровневого образования: междунар. симп. – Ростов н/Д. – 2009. – Т. 11.

2. Карпенко А.П. Обзор методов роя частиц для задачи глобальной оптимизации (Particle Swarm Optimization) [Электронный ресурс] / А.П. Карпенко, Е.Ю. Селиверстов; Моск. гос. техн. ун-т им. Н.Э. Баумана. – Электр. науч.-техн. изд. – М.: Наука и образование, 2009.

References

1. Derevyankina A.A. Modifikaciya i strukturno-parametricheskaya optimizaciya metoda royaschihsya chastic dlya resheniya ekstremal'nyh zadach / A.A. Derevyankina, R.A. Neidorf // Sovremennye problemy mnogourovnevogo obrazovaniya: mejdunar. simp. – Rostov n/D. – 2009. – T. 11. – in Russian.

2. Karpenko A.P. Obzor metodov roya chastic dlya zadachi global'noi optimizacii (Particle Swarm Optimization) / A.P. Karpenko, E.Yu. Seliverstov; Mosk. gos. tehn. un-t im. N.E. Baumana. – Elektr. nauch.-tehn. izd. – M.: Nauka i obrazovanie, 2009. – in Russian.

Материал поступил в редакцию 24.05.10.

R.A. NEYDORF, A.A. DEREVYANKINA

THE SOLUTION OF MULTIEXTREME PROBLEMS BY THE SWARM SHARING METHOD

The method of attack the research problems of the multiextremal dependencies in order to find several extremes simultaneously is described. It concerns both the problems of determining several equisignificant global extrema, and the problems of allocation, apart with the global, of the most significant local extrema. The efficiency of the modified particle swarm method for such tasks is shown.
Key words: search optimization, extremum, multiextremality, parametric space, heuristic algorithms, particle swarm method, optimization criterion.

НЕЙДОРФ Рудольф Анатольевич (р. 1944), заведующий кафедрой «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» (2004) Донского государственного технического университета, доктор технических наук (1988), профессор (1994). Окончил факультет «Автоматизация процессов химической промышленности» Новочеркасского политехнического университета (1967).
Область научных интересов: теория автоматического управления, математические методы решения экстремальных задач, эвристические поисковые методы оптимизации.
Имеет 34 авторских свидетельства, 15 свидетельств о регистрации программ.
Автор около 300 публикаций.

neyruan@yandex.ru

ДЕРЕВЯНКИНА Анна Анатольевна, доцент (2009) кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Донского государственного технического университета. Окончила факультет «Информатика и вычислительная техника» Донского государственного технического университета (2004).
Область научных интересов: методы распознавания образов, нейронные сети, метод роящихся частиц, аппроксимация изображений.
Автор 19 публикаций.

DerAnna@mail.ru

Rudolf A. NEYDORF (1944), Head of the Computer Software and Automated Systems Department, Don State Technical University (2004). Ph. D. in Science (1988), Professor (1994). He graduated from the Chemical Industry Process Automation Faculty, Novocherkassk Polytechnic Institute (1967).
Research interests: theory of automatic control, mathematical methods for solving extremal problems, heuristic search optimization methods.
Author of about 300 scientific publications, 34 certificates of authorship and 15 programme registration certificates.

neyruan@yandex.ru

Anna A. DEREVYANKINA, Associate Professor (2009) of the Computer Software and Automated Systems Department, Don State Technical University. She graduated from the Informatics and Computer Science Faculty, Don State Technical University (2004).
Research interests: methods of pattern recognition, neural networks, method of swarming particles, image approximation.
Author of 19 scientific publications.

DerAnna@mail.ru

УДК 622691.4:519.711.3

Н.В. КУДИНОВ, А.А. БОЛДЫРЕВА

МОДУЛЬНЫЙ ПОДХОД К КОМПЬЮТЕРНОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ УЧАСТКА МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

Рассматривается алгоритмическая и программная реализация моделирования распределенных систем технологических объектов. Предлагается технология разработки иерархической структуры классов, согласованной с множественным наследованием в языке Си++, при написании такого рода программных средств. Описывается исследование данного программного средства при моделировании типовых имитационных моделей.
Ключевые слова: *технология модульного взаимодействия, компьютерное моделирование, технологические объекты, типовые имитационные модели.*

Введение. В оперативном управлении процессами транспортировки и распределения веществ в химико-технологических объектах и –производствах важное место отводится вопросу компьютерного моделирования распределенных в пространстве и времени технологических объектов. Необходимо использовать проверенные методы, обеспечивающие высокую точность моделирования. Такие методы уже реализованы и развиты в пакетах Matlab, Octave, Scilab на основе библиотеки ODEPACK. Вычисления в этих библиотеках поддержано программами матрично-векторных операций из библиотек (Blas, Lapack, Linpack).

В качестве примера имитационного моделирования сложных динамических систем с иерархической структурой средствами объектно-ориентирован-ного программирования взят участок магистрального газопровода. Имитационное моделирование подразумевает сохранение структуры, связи между компонентами, способа передачи информации [1], присущих моделируемой системе. Элементы системы заменяются их моделями, которые «обвязываются» информационными связями так же, как и объекты в моделируемой системе.

Область исследований. Компьютерное моделирование основано на математическом моделировании и использует в качестве основы математические модели, тем не менее, математические предположения ослаблены для того, чтобы пользователь мог взаимодействовать с моделью интерактивно. Изучение модели пользователем в ходе интерактивного взаимодействия называется имитацией. Имитация как метод решения нетривиальных задач получила начальное развитие в связи с созданием ЭВМ в 1950–1960-х гг.

Выделяют две разновидности имитации:

– метод Монте-Карло (метод статистических испытаний);

– метод имитационного моделирования (статистическое моделирование).

Цель имитационного моделирования – воспроизведение поведения исследуемой системы на основе анализа наиболее существенных взаимосвязей между ее элементами или, другими словами, разработка симулятора (*simulation modeling* – англ. термин) исследуемой предметной области для проведения различных экспериментов.

Имитационное моделирование – это имитация (симуляция) поведения системы во времени, которым можно управлять: замедлять в случае с быстропротекающими процессами и ускорять для моделирования систем с медленной изменчивостью. Можно имитировать поведение тех объектов, реальные эксперименты с которыми дороги, невозможны или опасны.

Математическая модель выражает существенные черты объекта или процесса языком уравнений и других математических средств. Модель учитывает возможности исполнительного устройства, получающего результаты из исходных данных, используя построенную модель и алгоритм (рис.1). Математические формулы, позволяющие вычислить поведение модели, называются вычислительной математической моделью.

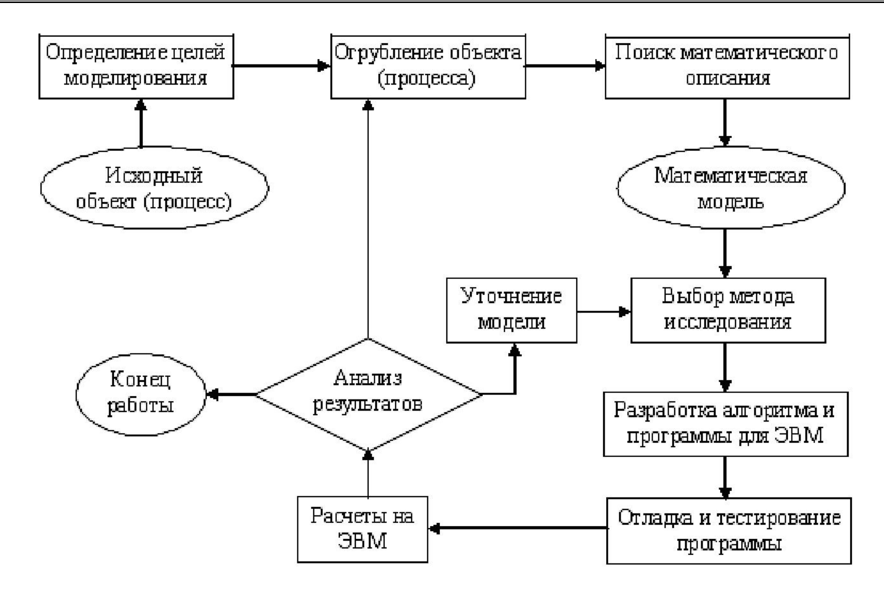


Рис.1. Компьютерное имитационное моделирование

Компьютерное моделирование – реализация вычислительных процессов в ЭВМ на основе математических моделей для исследования реального процесса на основе вычисленной информации.

Наиболее полный и однозначный переход от процесса к модели получается при воспроизведении физических законов. Более сложные процессы, например, технологические, с определенной долей точности можно представить как суперпозицию этих законов. Для сложных процессов установить структуру физических законов, энергетических и информационных связей позволяет последовательный анализ взаимосвязей и принятие обоснованных допущений при абстрагировании. Поэтапное абстрагирование и рассмотрение «Переменных порядка» [2] системной динамики на разных уровнях абстракции приводит к построению иерархии математических моделей. В программировании такие переменные – ячейки памяти, через которые передается входная и выходная информация между имитационными моделями разных уровней абстракций, например, между реализацией метода решения дифференциальных уравнений и визуализатором состояния пространственно-распределенного объекта.

При абстрагировании некоторые различия моделей отбрасываются, их объединяют в один класс, в рамках которого они не различимы, при этом некоторые важные свойства объектов теряются. Чтобы иметь возможность промоделировать процессы на объектно-ориентированном языке программирования во всей их сложности, надо, последовательно абстрагируясь от несущественных свойств (на определенном этапе), строить иерархию классов, учитывающую отброшенные свойства объектов. Множественное наследование позволяет в результате получить объекты с нужными свойствами и необходимой степенью абстракции (синтез производных классов). Таким образом, задача создания среды объектно-ориентированного моделирования сложной системы включает этапы построения иерархии классов, порождения (придания объектам новых свойств) и их увязывания (формирования известных информационных связей).

Результаты исследований. Система уровней абстракций помогает упорядочить процесс построения иерархии взаимодействующих объектов в парадигме объектно-ориентированного программирования. В ходе анализа структуры магистрального газопровода было выделено шесть уровней, на которых особым образом выделяются классы объектов. Такое дробление на уровни подходит для всех распределенных технологических объектов и для их моделей, например, участков магистрального газопровода, теплотрасс, химических реакторов, тепловых технологических печей, транспортеров сыпучих материалов. Для таких моделей технологических объектов можно описать все шесть уровней, а для компьютерной модели идеального вытеснения и идеального смешения – только первые четыре. Описание уровней приведено ниже.

Кибернетический уровень. Кибернетика – наука об управлении, связи и переработке информации. Основным объектом исследования в кибернетике являются кибернетические системы (рис.2).

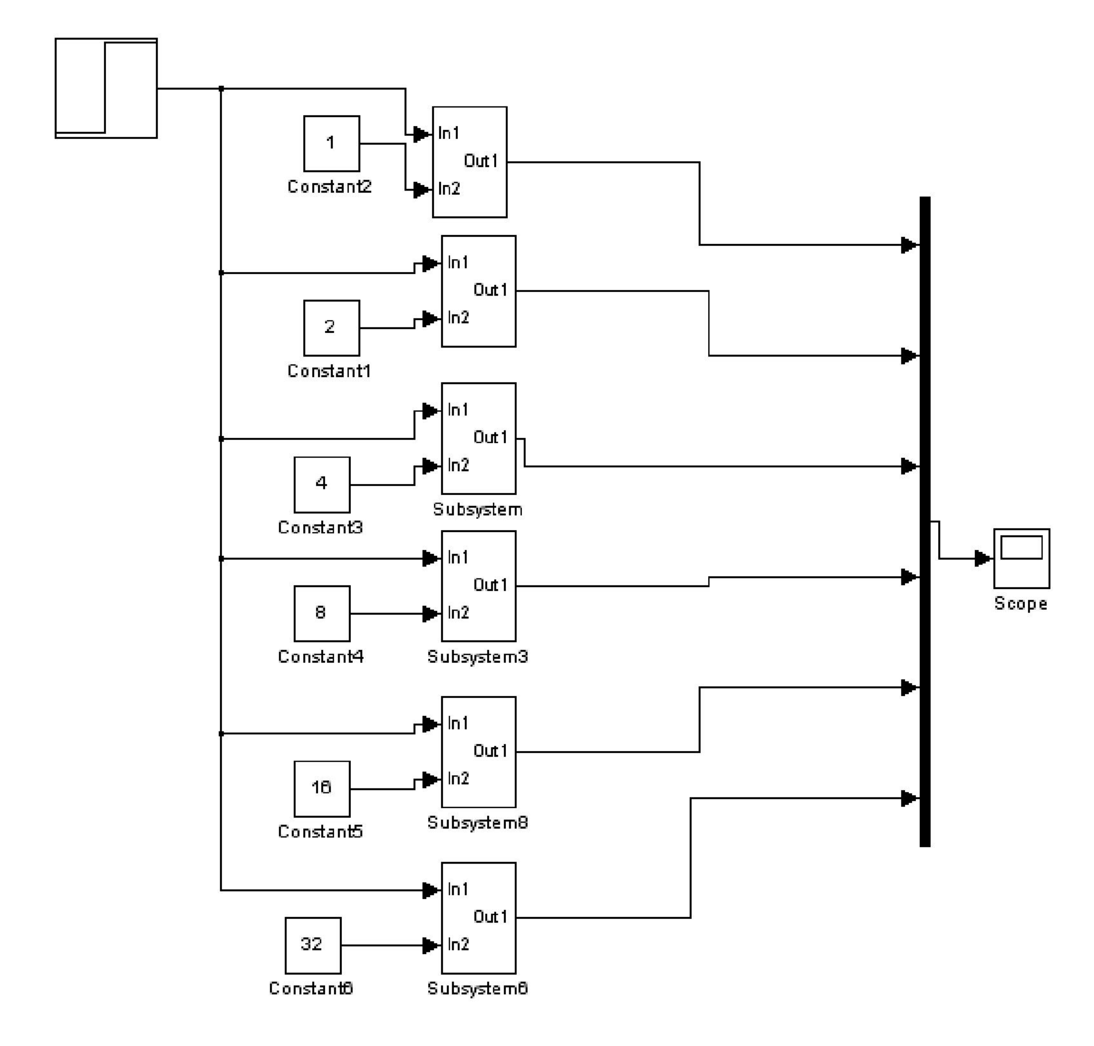


Рис.2. Кибернетическая система на примере ячеечной модели

Состояние элемента кибернетической системы может меняться как самопроизвольно, так и под воздействием тех или иных входных сигналов, получаемых им извне (из-за пределов рассматриваемой системы) либо от других элементов системы. В свою очередь, каждый элемент системы может формировать выходные сигналы, зависящие в общем случае от состояния элемента и воспринимаемых им в рассматриваемый момент времени входных сигналов. Эти сигналы либо передаются на другие элементы системы, при этом служат для них входными сигналами, либо входят в качестве составной части в передаваемые за пределы системы выходные сигналы всей системы в целом.

Ввод статических параметров осуществляется с помощью запроса у пользователя (интерактивно). В процессе работы происходит моделирование динамических процессов с одновременным опросом реакции пользователя (см. рис.3). На выходе получаем визуализацию полученных статических состояний.

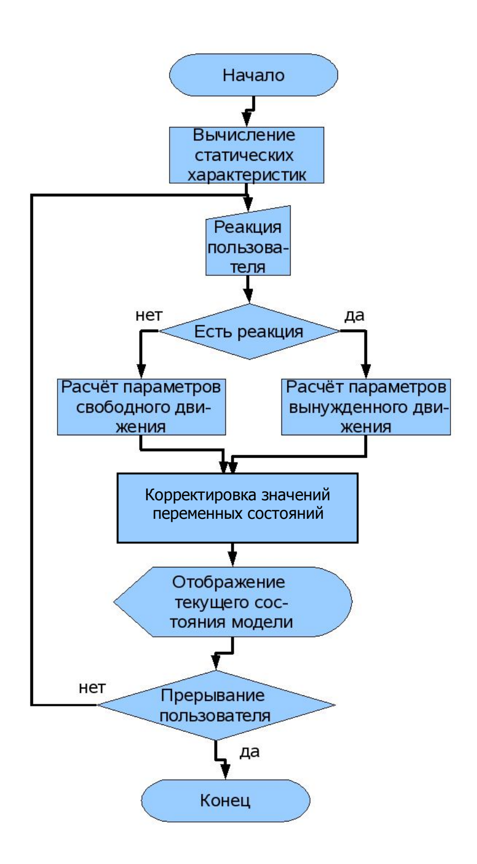


Рис.3. Алгоритм интерактивной визуализации

Механический уровень. В теоретической механике используется понятие фазового пространства – переменные состояния (положения, скорости, ускорения материальных тел). В связи с этим в моделях нужно учитывать в несколько раз больше переменных, нежели количество накопителей энергии в объекте моделирования.

Абстрактные объекты, инкапсулирующие (объединяющие и скрывающие) все эти переменные и формирующие динамику их изменения, относятся к классу «Фазовое пространство». Причем размерность фазового пространства, объектов, определяемых в форме Коши, в несколько раз больше, чем самих переменных состояния, поэтому класс «Переменные состояния» является наследником класса «Фазовое пространство», учитывающего общие свойства динамических моделей.

Физический уровень. Физическим этот уровень назван потому, что в его основу легла идея разделения классов, описывающих различные модели. В физике различают идеализации процессов – динамические, сосредоточенные в пространстве, распределенные в пространстве и стационарные во времени. В связи с такой классификацией при моделировании сложных технологических объектов выделяют три вида абстрактных моделей. Объекты первого вида моделируют пространственную сетку с постоянным или переменным шагом, необходимую для решения задач численных методов. Такие модели позволяют промоделировать пространственные размерности распределенных объектов. Второй вид объектов моделирует суперпозицию нескольких воздействий, подаваемых в одну точку пространства, и распределение их по нескольким каналам. Такие безразмерные модели характеризуются параметрами – количеством входов и выходов. И третий вид – абстрактная модель, включающая алгоритмы учета хода виртуального модельного времени. Алгоритмы, реализуемые в этом классе, позволяют программам численного моделирования решать задачи только на уровне численных методов и не заботиться о вычислении таких обобщающих показателей, как процент выполнения вычислительной работы по моделированию и обновлению пользовательского интерфейса. Композиция этих видов порождает объекты полезные при

моделировании физических систем общей природы, без привязки к техническим особенностям или технологии протекания того или иного процесса.

Математический уровень. Представляет алгоритмы аппроксимации непрерывного распределения параметров сеточными (табличными) функциями. При моделировании технологических объектов происходит замена моделей, заданных в непрерывном времени, дискретными моделями, реализуемыми компьютерными программами. Допустим, что технологический аппарат разбит на определенное количество участков (рис.4), в пределах участка концентрация постоянна, тогда можно определить концентрацию на каждом участке одной переменной *C* и сопоставить ее с одной точкой внутреннего пространства участка. Множество этих точек называется пространственной сеткой. Сетки бывают равномерные и неравномерные. Для построения неравномерных сеток, как правило, необходимо серьезное обоснование, так как на неравномерной сетке формулы аппроксимации усложняются. Ограничимся пока рассмотрением равномерной по пространству сетки узлов.

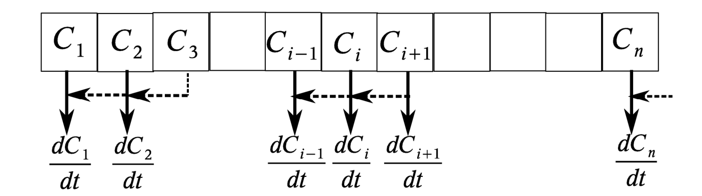


Рис.4. Пространственная сетка и расчетная схема моделирования химико-технологического объекта идеального смешения

Пространственно-временная аппроксимация в узлах этой сетки, в частности, метод прямых или конечно-разностная аппроксимация пространственных градиентов, позволяет получить аппроксимированную математическую модель, описываемую системой дифференциальных уравнений, которые можно решить с помощью различных численных методов. Наиболее частое применение находят методы Рунге–Кутта, Розенброка, Милна и т.д. К сожалению, не найдены научные публикации, анализирующие совместимость этих методов с аппроксимированной на пространственной сетке моделью распределенной среды. Соответствие исходной и аппроксимированной моделей достигается соблюдением дифференциальных законов протекания моделируемых процессов, а иногда интегральными зависимостями, описываемыми математической физикой. Между исходной и аппроксимированной моделью должна существовать тождественность, доказываемая предельным переходом к бесконечно малым величинам по пространству и времени. Построение компьютерной вычислительной модели происходит абстрагированием от непрерывной распределенности среды в конкретном аппарате. В общем случае принимается гипотеза о кусочной непрерывности n-й степени. Также производится переход от непрерывного времени к дискретному, ход которого определяется конкретным численным алгоритмом и влияет на качество моделирования. Для качественной визуализации процессов в модели необходим обратный переход от табличных функций, определенных на «дискретном времени», к непрерывному времени и пространству с точностью до компьютерной погрешности представления чисел с плавающей точкой. Такой переход реализуется межузловым восполнением – полиномиальной интерполяцией.

Технический уровень. Описывает технические конструкции, являющиеся составными частями технологических объектов, т.е. виртуальные линейные участки (участки газопровода без поворотов), виртуальные сопротивления (сопротивления газопровода, связанные с изгибом трубы, заслонки, газоперекачивающие агрегаты).

Технологический уровень. На технологическом уровне удобно объединить различные виды технологических объектов в классы: участки газопровода, компрессорные станции. На данном уровне не существенны такие низкоуровневые аспекты реализации модели, как способ аппроксимации или шаг пространственной сетки. Разработаны различные программные модели (классы объектов), в некоторых случаях допускающие программную стыковку через интерфейсы InputOutput. Объекты классов моделируют:

– GasPipeline – участки газопровода;
– CompressorStation – компрессорные станции;
– HeatingMain – теплотрассы;
– Conveyor – транспортеры сыпучих материалов.

Моделирование при описанном подходе является результатом взаимодействия множества внутренних компонентов программы. На схеме (рис.5) можно увидеть четкую иерархию классов в соответствии с предложенными выше уровнями.

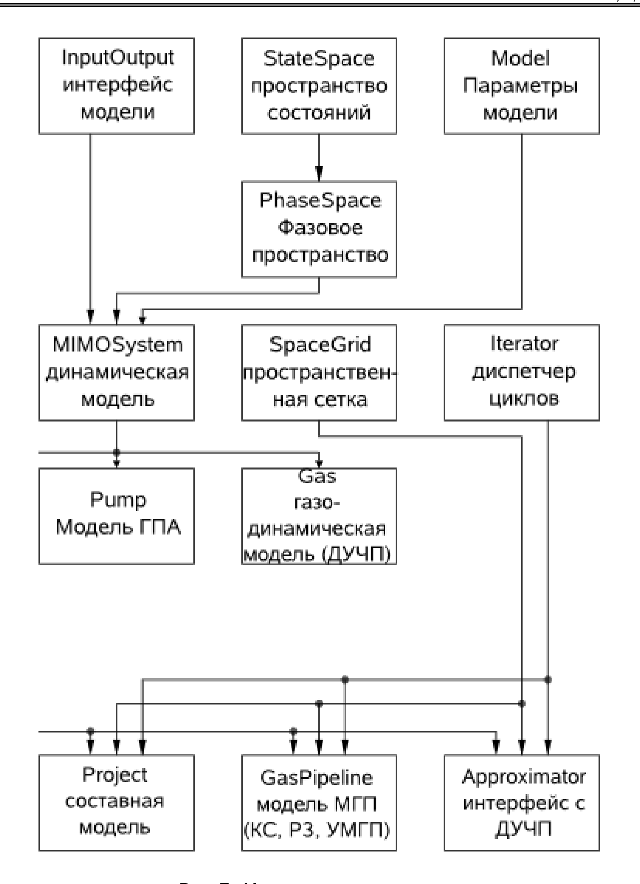


Рис.5. Иерархия классов:
КС – компрессорная станция; РЗ – запорно-регулирующая арматура; УМГП – участок магистрального газопровода; ДУЧП – система дифференциальных уравнений в частных производных; ГПА – газоперекачивающий агрегат; MIMOSystem – система со множеством входов и выходов

Основной поток информации при моделировании циркулирует между компонентом Project, реализующим численный метод решения систем дифференциальных уравнений, относящимся к классу Solver, и набором объектов Model, отвечающих за вычисления правых частей дифференциальных уравнений (ДУ). Эти объекты взаимодействуют между собой при помощи интерфейсов, описанных в классе InputOutput.

Такая схема взаимодействия мотивирована модульным принципом и позволяет подключать внешние модули без перестройки программной и алгоритмической структуры разработанного программного модуля. При традиционном моделировании в среде пакетов инженерно-научных расчетов Matlab или GNU Octave правые части системы ДУ вычисляются в пользовательской функции. Это обосновано, когда уравнения относительно простые, но когда расчет уравнений по вычислительной сложности сопоставим с работой численного метода, имеет смысл использовать специальные архитектурные решения. Предложенный подход значительно уменьшает вычислительные затраты при моделировании объектов, поточно взаимодействующих непосредственно через переменные состояния.

Применение результатов исследований в программировании имитационной модели. Разработанная система уровней позволяет стоить иерархию классов программных объектов, а затем связывать объекты в ходе выполнения программы во время моделирования. Структура «моделирующего дерева» в простом случае вырождается в список взаимодействующих моделей разных уровней абстракции, например, структура имитационной модели участка магистрального газопровода (рис.6). Предложенный подход к декомпозиции программ и алгоритмов на модули позволяет упорядочить разработку программ, моделирующих сложные технологические процессы.

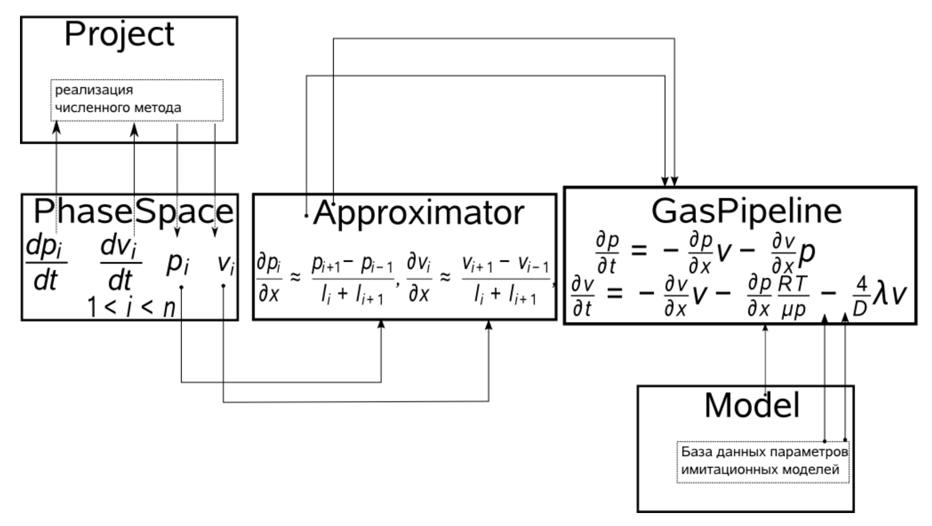


Рис.6. Взаимодействие программных объектов при имитационном моделировании

Обобщенный алгоритм компьютерного моделирования распределенных технологических объектов набором взаимодействующих имитационных моделей и вспомогательных модулей состоит из следующих шагов:

1. Определяются параметры, необходимые для работы каждой из имитационных моделей и вспомогательных модулей. Данные вводятся пользователем-исследователем или извлекаются из базы данных. В частности определяются параметры уравнений, которые явно не зависят ни от времени, ни от пространственной координаты.

2. Вспомогательные алгоритмы в модуле Approximator определяют размещение пространственных узлов для каждого из моделируемых аппаратов и их внутреннего пространства. Выделяется память под переменные состояния и фазовые координаты.

3. Инициализируются параметры численного метода, выбранного пользователем. Для пакетного (неинтерактивного) моделирования задается наибольший $h_{\max}$, наименьший $h_{\min}$ шаг метода и $t_{\min}$, $t_{\max}$ – начало и конец временного отрезка, на котором интегрируется уравнение, величина локальной точности метода ε.

4. Для непрерывного интерактивного моделирования задается допустимая точность выполнения (невязка) интегральных балансных уравнений.

5. По уравнениям статики рассчитывается комплексный режим статики всех имитационных моделей, входящих в систему.

6. Дальнейшие вычисления проводятся в цикле. Итерации выполняются для каждого дискретного момента времени, определяемого численным методом. Для вычисления скоростей изменения признака (концентрация, плотность, масса, скорость) во времени применяется объект Approximator, вычисляющий приближенно пространственные градиенты признаков и использующий модель конкретной сплошной среды, заданной дифференциальным уравнением в частных производных (ДУЧП). Пространственные градиенты используются в последней модели для вычисления скоростей изменения признака во времени. В свою очередь, эта информация возвращается методу интегрирования по времени. При расчете параметров в граничных ячейках задействуется интерфейс, определенный в классе InputOutput, для согласования граничных условий с соседними технологическими агрегатами.

7. Найденные скорости изменения признака в численном методе обобщаются в «Вектор наклона интегральных кривых», f. Программная реализация численного метода (Милна, Розенброка, Эйлера, Рунге–Кутта) вычисляет новую точку состояния системы, координаты которой сохраняются в реализации класса StateSpace.

8. Цикл повторяется до тех пор, пока не достигнет конца временного отрезка $t_{\max}$. Выход из цикла производится в случае выхода модели в критический режим, в пределе называемый сингулярностью. Когда производится непрерывное интерактивное моделирование (симуляция), пользователь-исследователь имеет возможность приостановить процесс моделирования или завершить его, сохранив хронологию изменения переменных состояния в базе данных (см. рис.3).

Библиографический список

1. Колесов Ю.Б. Имитационное моделирование сложных динамических систем / Ю.Б. Колесов, Ю.Б. Сениченков. – Режим доступа: http://www.exponenta.ru/soft/Others/mvs/ds_sim.asp.

2. Капица С.П. Синергетика и прогнозы будущего / С.П. Капица, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий. – М.: Наука, 1997. – Режим доступа: http: //www.gumer.info/bibliotek_Buks/Science/kap /intro.php.

3. Ландау Л.Д. Теоретическая физика: учеб. пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1986. – Т.VI. Гидродинамика. – 3-е изд., перераб.

4. Кудинов Н.В. Апроксимационно-балансный метод построения разностных схем для математической модели газопровода / Н.В. Кудинов // Математические методы в технике и технологиях: XVII междунар. конф.: сб. тр. / Костром. гос. техн. ун-т. – Кострома, 2004. – Т.10.

References

1. Kolesov Yu.B. Imitacionnoe modelirovanie slojnyh dinamicheskih sistem / Yu.B. Kolesov, Yu.B. Senichenkov. – http://www.exponenta.ru/soft/Others/mvs/ds_sim.asp. – in Russian.

2. Kapica S.P. Sinergetika i prognozy buduschego / S.P. Kapica, S.P. Kurdyumov, G.G. Malineckii. – M.: Nauka, 1997. – http: //www.gumer.info/bibliotek_Buks/Science/kap /intro.php. – in Russian.

3. Landau L.D. Teoreticheskaya fizika: ucheb. posobie / L.D. Landau, E.M. Lifshic. – M.: Nauka, 1986. – T.VI. Gidrodinamika. – 3-e izd., pererab. – in Russian.

4. Kudinov N.V. Aproksimacionno-balansnyi metod postroeniya raznostnyh shem dlya matematicheskoi modeli gazoprovoda / N.V. Kudinov // Matematicheskie metody v tehnike i tehnologiyah: XVII mejdunar. konf.: sb. tr. / Kostrom. gos. tehn. un-t. – Kostroma, 2004. – T.10. – in Russian.

Материал поступил в редакцию 02.06.10.

N.V. KUDINOV, A.A. BOLDYREVA

COMPUTER MODELLING OF THE CROSS-COUNTRY GAS PIPELINE SECTION

Algorithmic and program implementation of modeling of the technological objects distributed systems is considered. The technology of hierarchic class structure development agreed upon multiple inheritance in C++ is offered for software authoring . Research of the given software tool when modeling standard simulation models is described.

Keywords: module interaction technology, computer modeling, technological objects, standard simulation models.

КУДИНОВ Никита Валерьевич (р. 1980), доцент кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Донского государственного технического университета, кандидат технических наук (2006). Окончил Донской государственный технический университет (2001).

Область научных интересов: математическое моделирование технологических процессов, практические вопросы применения компьютерных сетей и операционных систем ЭВМ.

Автор 16 научных работ.

nikudinov@gmail.com

БОЛДЫРЕВА Анна Александровна, студентка 5-го курса специальности «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Донского государственного технического университета. Бакалавр техники и технологий (2009).

Область научных интересов: аналитические методы математического описания объектов управления, разработка математических и компьютерных моделей.
Автор 9 публикаций.

lenivec88@mail.ru

Nikita V. KUDINOV (1980), Associate Professor of the Computer Software and Automated Systems Department, Don State Technical University. Candidate of Science in Engineering (2006). He graduated from Don State Technical University (2001).
Research interests: mathematical simulation of technological processes, computer networks and operation systems application.
Author of 16 scientific publications.

nikudinov@gmail.com

Anna A. BOLDYREVA (1988), Student Don State Technical University. Bachelor of techniques and technologies (2009).
Research interests: analytical methods of the control objects mathematical description, mathematical and computer models development.
Author of 9 scientific publications.

lenivec88@mail.ru

УДК 519.6:656.13

Е.Н. ЛАДОША, Д.С. ЦЫМБАЛОВ, О.В. ЯЦЕНКО

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Детализирована модель рабочего процесса поршневого двигателя. Выполнено сопряжение динамики внутрицилиндровых процессов с внешними условиями – нагружения, теплообмена и топливоподачи. Разработан дополнительный модуль, который позволяет удовлетворительно описывать кинетику окислов азота. Частично решена задача расчета химического состава отработавших газов в различных режимах, включая переходные. По сравнению с прототипами модель обладает повышенным химическим разрешением, что позволяет с ее помощью уточнять теоретические оценки содержания отдельных токсичных веществ в отработавших газах.

Ключевые слова: *поршневой двигатель, горение, кинетика, турбулентность, информационная модель, осреднение, отработавшие газы, токсичность.*

Введение. Поршневой двигатель внутреннего сгорания (ДВС) является основным агрегатом современных автотранспортных средств, поэтому топливная экономичность и токсичность отработавших газов (ОГ) имеют первостепенное значение. Отсюда растущий интерес к информационным моделям рабочего процесса ДВС как инструменту интерпретации данных, оптимизации конструкции, средству поиска альтернативного моторного топлива [1, 2].

При моделировании внутрицилиндровых процессов приходится преодолевать «проклятие размерности», проблему разнородности и разномасштабности процессов, аккуратно описывать «обостренные» режимы и формирование структур. Важно отработать методики агрегирования фрагментных моделей таким образом, чтобы результат «склеивания» наследовал регуляризующие свойства ключевых элементов [3].

Попытки рассчитать токсичность поршневого ДВС при помощи компьютерных моделей [4–5] лишь отчасти оправдали ожидания авторов: хорошо воспроизводя выбросы CO, углеводородов C_xH_y, сажи и сернистых соединений, они давали на два порядка заниженные концентрации NO в ОГ. Поскольку в первых моделях внутрицилиндрового горения в двигателе азотная кинетика не учитывалась, проблема рассчитать содержание NO в выхлопе связывалась с химической неравновесностью рабочего тела, которое полагалось параметрически однородным. Впоследствии кинетическая схема [5] была дополнена реакциями с участием азота, но для расчета концентрации NO в ОГ этого оказалось недостаточно.

Ключевые идеи, допущения, математическая формулировка задачи.
Отработана следующая гипотеза. Если макроскопически трехзонные кинетические модели не позволяют адекватно воспроизвести токсичность ДВС по NO, причиной может служить только пространственное переосреднение, т.е. замена истинного поля параметров $X(r, t)$ средними по пространству величинами, например, $<X(t)>$ или $X(<r>, t)$. Это приводит к тому, что важные для целей моделирования связи не отражаются моделью. В математической формулировке задачи использованы обозначения: $X \equiv \{c_1, c_2, \ldots, T\}$ – псевдовектор, объединяющий концентрации компонентов c_i , см$^{-3}$, и температуру T, К; $r \equiv \{r_1, r_2, r_3\}$ – пространственная вектор-переменная, {м, м, м}; t – время, с.

Информационная модель (ИМ) упрощается, если в системе имеются и выявлены малые или, наоборот, большие параметры [3].

Схематизация горения в двигателе: модель «реакции-перенос». Основополагающие предположения усовершенствованной модели унаследованы от прототипов [4, 5] и формулируются следующим образом:

– топливно-воздушный заряд химически и термодинамически однороден;

– впрыскиваемое топливо монофракционно, а его условная химическая формула $C_{14}H_{30}$ (дизельное) или C_8H_{18} (бензин);

– химические аспекты горения хорошо укладываются в кинетическую схему, ограниченную элементарными реакциями между C-H-O-содержащими веществами с тремя и менее атомами углерода, а также несколькими брутто-реакциями крекинга исходных углеводородов;

– турбулентные эффекты сводятся к ограничению скорости элементарных химических процессов темпом переноса реагентов в зону тепла из зоны пламени;

– испаряется жидкое диспергированное топливо диффузионно;

– теплообмен излучением незначителен.

Поскольку диффузия, теплопроводность и реакции – равнозначные «игроки» в процессе формирования пламенных структур, кинетические члены в уравнениях непрерывности и энергетического баланса подверглись «мелкомасштабному» осреднению. Для учета макроскопической параметрической неоднородности топливно-воздушной смеси осуществлено разбиение заряда на три взаимодействующих зоны, внутри каждой из них рабочее тело полагается однородным. Скорость межзонного обмена термохимическими характеристиками определяется как «качество смесеобразования» с помощью полуэмпирической зависимости.

Энергетическая открытость модели обеспечивается заданием реалистичных условий теплоотдачи со стороны заряда (горящей топливно-воздушной смеси) в стенки камеры сгорания и внешнего силового (или, точнее, моментного) нагружения ДВС. Теплообмен задается уравнением Ньютона–Рихмана, а нагрузка – известными уравнениями кинематики кривошипно-шатунного механизма [6] под действием внешних сил, препятствующих свободному вращению коленвала. В модели эти силы имитирует линейная комбинация сухого трения и гидродинамического сопротивления движению, которое выбрано пропорциональным частоте вращения коленвала.

В разработанной авторами информационной модели (ИМ) рабочего процесса ДВС химизм горения углеводородного топлива описывается совокупностью более чем 400 микроскопически обратимых элементарных реакций, кинетические характеристики которых взаимно согласованы в рамках общего термохимического потенциала реагирующей газофазной среды [7, 8]. Эта важная особенность представленной ИМ качественно отличает ее от известных аналогов и прототипов, в динамике которых не исключены артефакты.

Собственно внутрицилиндровый химизм, его связь с динамикой и теплообменом описывается системой дифференциальных уравнений

$$\frac{dX}{dt} = f(X) + S(X,t) \quad , \tag{1}$$

где f – скорость изменения термохимических параметров заряда X, {см$^{-3}$· с$^{-1}$, см$^{-3}$ · с$^{-1}$, …, К · с$^{-1}$};
S – темп обмена термохимическими параметрами между зарядом и «резервуаром», {см$^{-3}$· с$^{-1}$, см$^{-3}$ · с$^{-1}$, …, К · с$^{-1}$}.

Система (1) подразумевает пространственное осреднение динамических переменных, причем в самом общем виде. Уравнения внутрицилиндровой динамики ДВС и сопряженных процессов, осреднением которых получены (1), подробно описаны в работах [7, 8], а основная идея метода их осреднения описана ниже. Ключевой особенностью описанной модели является двухмасштабное осреднение динамических переменных, объединяющее параметрическое осреднение кинетических уравнений на уровне пламенных диффузионно-реакционных структур (с учетом турбулентного разлохмачивания последних) и осреднение на уровне квазиоднородных макрообъемов горящей топливно-воздушной смеси (ТВС) заряда.

Микромасштабное осреднение эволюционных уравнений основано на следующих научных результатах. Распространяющееся по однородной горючей смеси пламя служит классическим примером автосолитонов [8]. Выделяющаяся в процессе горения среды внутренняя энергия «собирается» вследствие конкуренции нелинейности и диффузионного переноса в бегущую локализованную структуру (волну). Скорость распространения волны горения – среднегеометрическая величина между обратным временем химической реакции и эффективным коэффициентом диффузии вещества и/или тепла в горючей среде. Поэтому явной формой эволюционных уравнений динамики поршневого (одноцилиндрового) ДВС, осредненных по структуре/масштабу пламенной зоны, являются:

$$\frac{dn_i}{dt} = f_i^*(n,\rho,T) + F_i(t) \ ; \tag{2}$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\sum f_i^*(n,\rho,T)\{H_i / C_V - T\}}{\sum n_i} + q(t) \, ; \tag{3}$$

$$\frac{dQ}{dt} \equiv q(t) = -\frac{dA}{dt} - \frac{dQ_w}{dt} - \frac{dQ_{ph}}{dt}; \quad (4)$$

$$\frac{dA}{dt} = \frac{\sin\Omega t + \gamma/2\sin 2\Omega t}{2\left[\frac{1}{\varepsilon - 1} + 0,5(1 - \cos\Omega t + \gamma/2\sin^2\Omega t\right]}\Omega nRT; \quad (5)$$

$$\frac{dQ_w}{dt} = \alpha S_w (T - T_w); \quad (6)$$

$$\frac{dQ_{ph}}{dt} = L_f F_f(t); \quad (7)$$

$$\frac{dn}{dt} = \sum \frac{dn_i}{dt}; \quad (8)$$

$$\frac{dm_f}{dt} = G(t) - \frac{3D_f}{\Lambda^2} m_f; \quad (9)$$

$$F_i(t) = \delta_{i,f} \frac{3D_f m_f}{\Lambda^2 \mu_f}; \quad (10)$$

$$I\, d^2\varphi/dt^2 + (k_1 + k_2\, |d\varphi/dt|)\, d\varphi/dt + P(\varphi)\, S_p\, r(\varphi) = 0; \quad (11)$$

$$P(\varphi) = k_Б\, RT(\varphi)/V(\varphi); \quad (12)$$

где

$$[f_i^*(n,\rho,T)]^{-1} = [f_i^{chem}(n,\rho,T)]^{-1} + [f_i^{diff}(n,\rho,T)]^{-1},$$

$$f_i^{diff}(n,\rho,T) = \frac{2\operatorname{sign}\{f_i(n,\rho,T + T_{ad}/2)\} - 1}{l}\sqrt{D\operatorname{Re}^{1,5} n_i\, |\, f_i(n,\rho,T + T_{ad}/2)\,|};$$

$n = \{n_i\}$, $n_i = c_i/\rho$[молекул/г] – концентрация компонентов (ρ – плотность газа, г/см^3); Re – число Рейнольдса; F_i – внешние источники газообразного вещества (при впрыске); q – доля теплового потока, не связанная с химическими реакциями; m_f и L_f – соответственно масса жидкой фазы и теплота испарения; μ_j – молекулярный вес j-го газового компонента; S_w и l – мгновенное значение площади поверхности теплообмена и характерного линейного размера камеры сгорания (КС); γ и ε – отношение радиуса кривошипа к длине шатуна и геометрическая степень сжатия; α, T_w – усредненные коэффициент теплоотдачи, температура поверхности КС; D_f, $\Lambda = \Lambda(G)$ и $G(t)$ – коэффициент диффузии паров топлива в вакуум, средний диаметр капель при распылении форсункой и массовая скорость впрыска топлива; δ_{if} – символ *Кронекера*; R – универсальная газовая постоянная; I – приведенный момент инерции нагруженного ДВС; $P(\varphi)$, S_p и $r(\varphi)$ – соответственно мгновенное давление в камере сгорания, площадь поршня и имеющая размерность длины функция передачи поступательного усилия во вращение (это слагаемое в уравнении (11) соответствует одноцилиндровому ДВС); φ – угол поворота, град. ПКВ и $\Omega = d\varphi/dt$ – частота вращения коленвала; k_1 и k_2 – коэффициенты сопротивления вращению; $k_Б$ – постоянная Больцмана; прочие обозначения соответствуют принятым в теплотехнике.

Фигурирующий в уравнениях (2)–(12) комплекс f^* агрегирует два параллельных канала химических превращений: f^{chem} – медленные реакции, протекающие синхронно во всех точках камеры сгорания как в реакторе идеального смешения, и f^{diff} – быстрые процессы во фронте пламени, темп которых ограничивается турбулентной диффузией. Раскрывающие смысл (2)–(12) алгебраические соотношения уравнивают роли реакционного и транспортного каналов в совокупном процессе образования/гибели i-го вещества. В соответствии с (2)–(12) при идеальном перемешивании все вещества образуются равномерно в объеме камеры сгорания, а при сильно затрудненном – во фронте горения. Мерой перехода того или другого канала образования вещества в ранг доминантного служит степень турбулизации заряда. Предложенная техника позволяет достаточно аккуратно учитывать роль диффузионных процессов при горении в ДВС, используя обыкновенные дифференциальные уравнения в качестве базового математического инструмента. Ес-

тественно, в пламени реакции протекают при повышенной температуре: ее скачок ограничен адиабатической температурой сгорания ТВС в локальных условиях T_{ad} и в нашей модели полагается равным $T_{ad}/2$.

Кроме того, поскольку нет универсальной связи между коэффициентом турбулентной диффузии D_{turb} и числом Re, в нашей модели использована зависимость $D_{turb} \sim \mathrm{Re}^{3/2}$, промежуточная между известными предельными приближениями, мелко- и крупномасштабных пульсаций $D_{turb} \sim \mathrm{Re}$ и $D_{turb} \sim \mathrm{Re}^2$.

Определенным недостатком предложенных здесь уравнений горения является отказ на данном этапе от осреднения скоростей реагирования по Фавру на масштабах пламенной зоны [9]. Оправданием такого упрощения нашей модели служит достаточно интенсивная турбулизация, следовательно, заметное размытие реакционной зоны в пространстве. Согласно специально выполненным оценкам, в условиях ДВС чувствительность констант скоростей реакций к изменениям температуры заметно превышает их чувствительность к плотности реагирующего газа.

Если ограничить осреднение уравнений химизма только мезотранспортными процессами в пламени, концентрация ряда токсичных продуктов сгорания оказывается заниженной. Это касается как продуктов неполного сгорания CO и C_xH_y, так и побочных продуктов окисления NO_x. Причина кроется в том, что выход этих продуктов определяется крупномасштабной параметрической неоднородностью ТВС, а не кинетикой гомогенных реакций.

Для приведения модели в соответствие реальному положению вещей в ней использовано предположение о существовании в пределах заряда ТВС трех параметрически однородных зон:

– с номинальным коэффициентом избытка воздуха $\alpha_1=\alpha$, в которой сгорает x-я часть топлива ($0 < x < 1$);

– коэффициентом избытка воздуха α_2 = 0,7, где сгорает 1/2(1 – x) доля топлива;

– коэффициентом избытка воздуха α_3 = 2α – 0,7, где сгорает остаток топлива.

Итоговую концентрацию i-го компонента находим при помощи соотношения

$$\langle c_i \rangle = ½\,(1-x)\,c_i^{\,0,7} + x\,c_i^{\,\alpha} + ½\,(1-x)\,c_i^{\,2\alpha-0,7}\,, \tag{13}$$

где верхний индекс при c_i соответствует локальному коэффициенту избытка воздуха.

Для расчета качества смесеобразования x нами предложена формула

$$x = th(\tau_{chem}/\tau_{gd}) = th[D_{turb} \sum n_i / (l^2 \sum |d\,n_i/d\,t|)]\,, \tag{14}$$

где τ_{chem} и τ_{gd} – характерное время химического окисления и механического перемешивания заряда.

Внесение коррективы в исходную модель значительно улучшило согласие рассчитываемых величин c_i с известными из эксперимента тестовыми данными.

Параметры модели S_w, l и Re (соответственно D_{turb}), безусловно, являются конструктивно определенными функциями времени t.

Развиваемая в соответствии со схемой (рис.1), модель позволяет не только надежно определять энергетические (интегральные и мгновенные) характеристики рабочего цикла различных типов ДВС, но также содержание в ОГ CO, C_xH_y, NO, RCOH, воспроизводить тонкости образования токсичных веществ на переходных режимах.

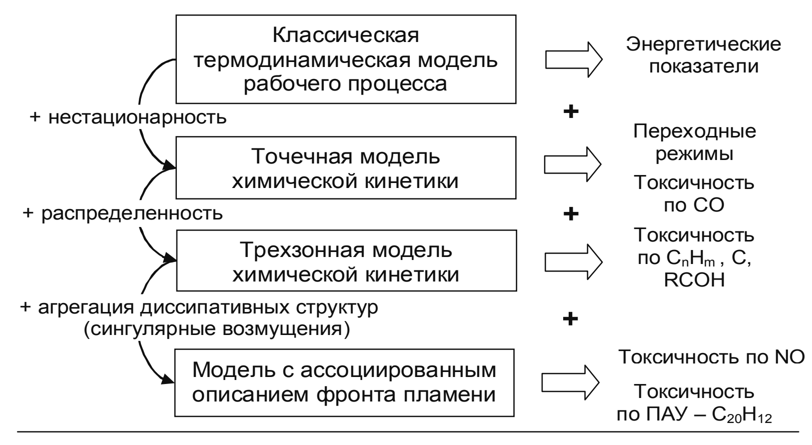


Рис.1. Эволюция модели рабочего процесса поршневого ДВС [4–8]

Авторами также ведутся работы по расширению номенклатуры токсичных компонентов в выхлопных газах за счет сажи и бенз(а)пирена $C_{20}H_{12}$.

Результаты вычислительного эксперимента и их интерпретация. Адекватность созданной модели оценим, сопоставляя рассчитанные с ее помощью характеристики рабочего процесса ДВС и данные технического эксперимента. Соответствующие результаты для распространенного тепловозного дизеля 1Д49 приведены в табл.1.

Таблица 1

Некоторые интегральные, экстремальные и мгновенные характеристики рабочего процесса в дизеле 1Д49 в режиме номинальной мощности

Параметры	Расчет	Эксперимент
Среднеиндикаторное давление, атм	19,4	20,1
Индикаторная мощность двигателя, кВт	4620,0	4740,0
Индикаторный КПД, %	44,2	45,1
Удельный расход топлива (инд.), г/кВт·ч	195,0	186,0
Максимальное давление, атм	136,0	130,0
Максимальный темп нарастания давления, атм/град ПКВ	**3,9**	–
Максимальная температура, К	**1630,0**	–
Максимальная скорость роста температуры, К/град ПКВ	**61,0**	–
Доля выделившегося тепла заряда до P_{max}, %	**49,0**	–
Максимальное содержание СО в заряде, %	**1,7**	–

Эти данные свидетельствуют, что доступные для экспериментальных измерений параметры рабочего цикла надежно рассчитываются на основании предложенного авторами кинетического подхода. Кроме того, разработанная схема вычислений позволяет определять ряд не измеряемых, но важных для практики эксплуатации ДВС мгновенных и интегральных параметров рабочего процесса (выделены в табл.1 жирным шрифтом).

Для целей оптимизации впрыска и газообмена в поршневом ДВС важны интегральные и мгновенные энергосиловые показатели рабочего процесса (давление и температура в камере сгорания), а также токсические характеристики заряда и ОГ. Разработанная для управления электромагнитной системой клапана математическая модель внутрицилиндровых процессов позволяет рассчитывать определяющие параметры рабочего тела в динамике с большей (механические) или меньшей (токсические по оксиду азота) степенью достоверности. В табл.2–4 приведены результаты энергосиловых расчетов для трех представительных режимов двигателя ВАЗ–2108: скорость вращения коленвала составляет на этих режимах 1000, 2000 и 4000 мин$^{-1}$, коэффициент избытка воздуха α = 1.

Таблица 2

Параметры рабочего процесса двигателя ВАЗ–2108

Коэффициент избытка воздуха, доля объема	1 0,8	0,7 0,2	1,3 0,2	Среднее значение
1	2	3	4	5
Среднеиндикаторное давление, атм	5,93 6,47 5,86	5,91 5.82 5.67	1,34 1,31 1.59	5,47 5,89 5,41
Индикаторная мощность, кВт	16 34 63	15,9 31,4 61	3,6 7,1 17	14,8 31 58,2
Угол поворота коленвала при максимальном давлении в КС, град ПКВ после ВМТ	19 12 15	10 5 2	5 4 5	16,7 10,5 12,7
Максимальное давление, атм	59 69 68,7	73 77 78,4	29 31 32,7	57,4 66 66,1
Угол поворота коленвала при максимальной скорости нарастания давления в КС, град ПКВ после ВМТ	16 -13 10	9 2 -9	-13 -11 -12	12,4 -11,3 6

Окончание табл.2

1	2	3	4	5
Максимальная скорость нарастания давления в КС, атм/град ПКВ	6,95 11,8 5,75	9,44 9,8 8,09	0,67 8,5 8,98	6,57 11,3 8,71
Угол поворота коленвала при максимальной средней температуре заряда, град ПКВ после ВМТ	25 23 15	10 6 2	23 18 22	23,3 20,8 14,4
Максимальная средняя температура рабочего тела, К	2240 2306 2265	2193 2175 2135	925 942 1009	2103 2157 2126
Максимальная скорость нарастания температуры заряда, К/град ПКВ	290 373 204	299 276 225	9 13 14	263 327,3 187
Доля теплоты цикла, выделившаяся до ВМТ	0,05 0,09 0,12	0,03 0,22 0,59	0,23 0,36 0,36	0,09 0,13 0,19
Доля теплоты цикла, выделившаяся до момента, когда давление в КС максимально	0,88 0,82 0,98	0,98 0,97 0,97	0,33 0,44 0,45	0,84 0,80 0,93
Доля теплоты цикла, выделившаяся до момента, когда температура заряда максимальна	0,99 0,99 0,99	0,99 0,98 0,98	0,80 0,76 0,85	0,97 0,98 0,98

Примечание: тактность двигателя – 4; число цилиндров – 4; рабочий объем камеры сгорания – 400 см^3; частота вращения – 1000 / 2000 / 4000 мин$^{-1}$; степень сжатия – 10; отношение радиуса кривошипа к длине шатуна – 0,25; давление в начале такта сжатия – 1,0 атм; температура в начале такта сжатия – 300 К; начало впрыска топлива – 20 / 30 / 35 град до ВМТ; длительность впрыска – 35 / 30 / 40 град; момент поджига заряда – 7 / 13 / 9 град до ВМТ; средний диаметр капель диз. топлива – 0,02 см; коэффициент диффузии паров диз. топлива – 0,1 см^2/с; диаметр цилиндра – 8 см; ход поршня – 8 см; температура стенок камеры сгорания – 600 / 650 / 700 К; средний коэффициент теплопередачи – 0,01 Вт/см$^2\cdot$К; обратное время диффузии кислорода в факел – 1000 / 1700 / 2500 1/с.

Приведенные в табл.2 данные согласуются с известными теоретическими положениями и экспериментально установленными фактами. Развиваемая мощность монотонно возрастает с частотой вращения коленвала в интервале 1000– 4000 мин$^{-1}$, в то время как крутящий момент (он пропорционален среднеиндикаторному давлению) максимален в интервале 2000–4000 мин$^{-1}$. Увеличение темпа вращения коленвала сопровождается возрастанием доли тепла, выделившегося до ВМТ с 9 до 19 %, что также отвечает современному пониманию динамики внутрицилиндровых процессов.

Вклад трех макроскопических однородных зон заряда в силовую брутто-характеристику ДВС проиллюстрирован на индикаторной диаграмме (рис.2) для условий в средних строчках табл.2 (номинальный режим двигателя).

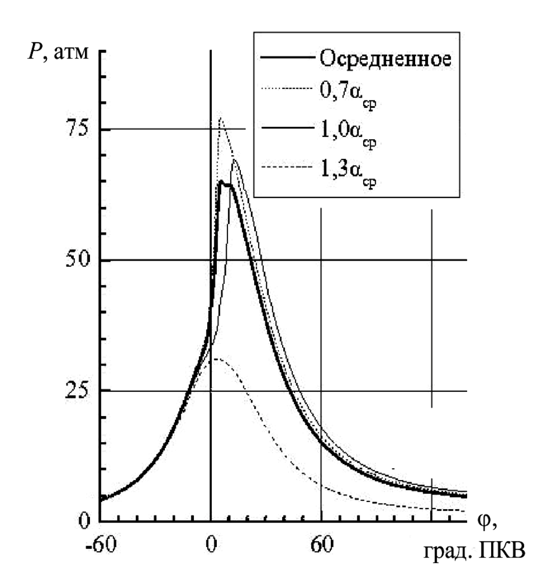


Рис.2. Парциальные индикаторные диаграммы для различных зон ТВС двигателя ВАЗ-2108 при частоте вращения коленвала 2000 мин$^{-1}$ (при искусственно отключенном межзонном взаимодействии)

Усовершенствованная модель удовлетворительно воспроизводит кинетику СО-токсичности ДВС при изменении нагрузки, объема и закона подачи топлива. Кинетическая кривая [CO](φ) для одноцилиндровой версии двигателя 10Д100 при увеличении мощности от соответствующей холостому ходу до номинальной показаны на рис.3. Раз-

гон ДВС в вычислительном эксперименте осуществлялся увеличением цикловой подачи топлива в 4 раза; зависимость интенсивности впрыска топлива от угла поворота коленвала (ПКВ) не менялась.

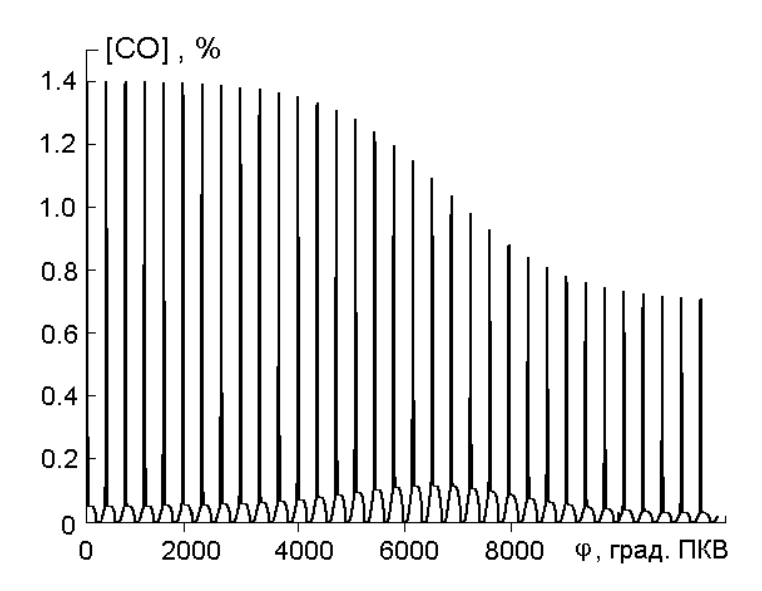


Рис.3. Переходный процесс в одноцилиндровом двухтактном дизеле: кинетическая кривая [CO](φ)

Отображенный на рис.3 переходный процесс сопровождается увеличением удельного выброса CO примерно в 3 раза по сравнению с исходным и конечным установившимися режимами. Его продолжительность зависит от инерционности транспортного средства и динамических свойств трансмиссии. Разгон двигателя осуществляется за 20–30 оборотов коленвала, что соответствует примерно двум секундам ускоренного движения городского автобуса. Важно отметить, что в городском ездовом цикле переходные режимы ДВС часто доминируют [1, 2].

Кроме того, реалистичные модели должны учитывать число цилиндров и тактность двигателя, весь спектр выбрасываемых токсичных веществ (ТВ) и различия их индивидуальной ядовитости. В результате усложняются кинетические кривые как отдельных ТВ, так и суммарной токсичности заряда [1, 2]. Отметим, что динамика интегральной токсичности ТВС и ОГ немонотонна.

Рассчитанная согласно описанной модели, внутрицилиндровая кинетика углеводородов, альдегидов и NO, в т.ч. их содержание в ОГ тепловозного дизеля 10Д100 показаны на рис.4.

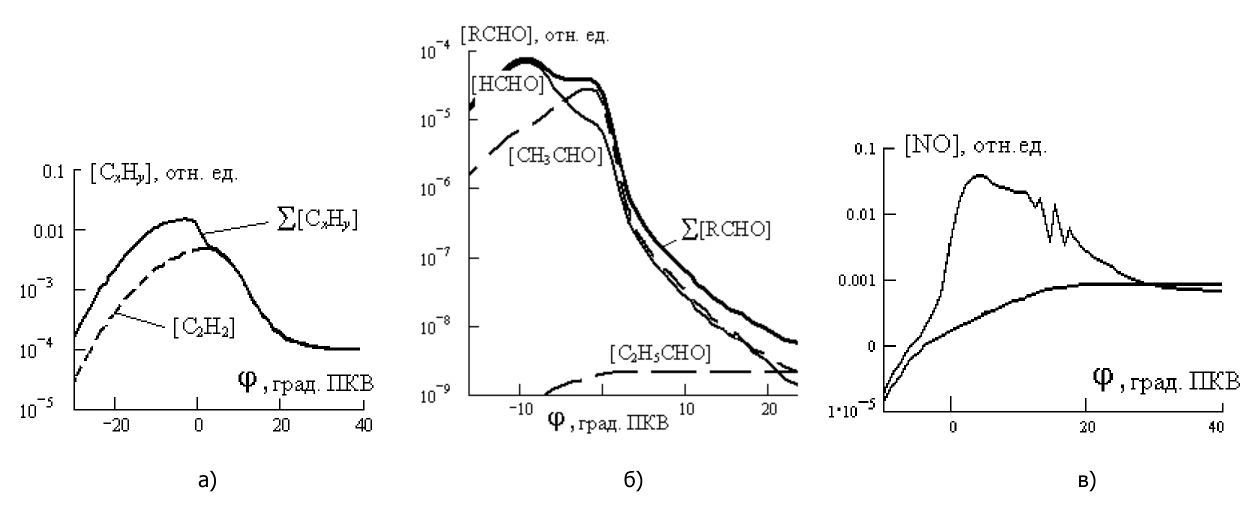


Рис.4. Кинетика в среднеоборотных дизелях на примере тепловозного дизеля 10Д100: а – углеводородов; б – альдегидов; в – оксида азота

Условия расчетов соответствуют номинальной мощности для углеводородов и альдегидов, а для NO – номинальной (экстремальная кривая) и половинной (монотонная кривая) мощности. Содержание токсичных компонентов в ТВС дается в мольных долях.

По завершении фазы активного горения основным углеводородом в ОГ является ацетилен (рис.4,а). Это объясняется наибольшей прочностью $C \equiv C$ связи ацетилена среди углерод-углеродных связей в моторных топливах. На этапе активного горения, однако, основным углеводородом в заряде является этилен: его доминирование объясняется тем, что C_1-углеводороды окисляются существенно быстрее, чем C_2-улеводороды, а C_3-углеводороды, наоборот, заметно медленней. В результате C_1-углеводороды сгорают практически мгновенно, а C_3-углеводороды в течение характерного времени окисления C_2-углеводородов успевают разложиться термически на C_1- и C_2-фрагменты.

Отметим, что рассмотренная ситуация отвечает условиям достаточно хорошего смесеобразования, при котором в выхлопе практически отсутствуют высшие углеводороды. Высокое качество смесеобразования в рассмотренном примере выражается также в незначительном содержании альдегидов в выхлопе (рис.4,б), что хорошо согласуется с современной теорией физико-химических процессов в ДВС [1, 2].

Экстремальный характер кинетической кривой NO на рис.4,в, которая соответствует номинальной мощности, означает, что при высокой теплонапряженности рабочего цикла ДВС кинетика внутрицилиндрового оксида азота двухстадийна. На первой или горячей стадии концентрация NO успевает отслеживать среднюю температуру заряда. Вторая стадия реализуется, когда средняя температура становится слишком низкой для протекания реакций гибели NO, и его содержание в ТВС «замораживается».

При частичных нагрузках средняя температура рабочего тела в течение всего цикла не достаточна для «запуска» реакций гибели NO, поэтому средняя концентрация окислов азота в рабочем теле монотонно увеличивается. В обоих случаях содержание NO в выхлопе близко к фактическому [1, 2]. Кроме того, рассчитанное соотношение NO-токсичности выхлопа при номинальной и половинной мощности получается вполне реалистичным.

Еще один практически важный результат компьютерных экспериментов с моделями состоит в выявлении сравнительно компактного и универсального химического механизма горения нефтяного моторного топлива в современных поршневых ДВС, что исключительно важно для технических приложений.

Авторы, воспользовавшись разработанными ранее технологиями и средствами [10], выявили элементарные реакции, определяющие химизм рабочего процесса поршневых ДВС. Полученная в результате оптимизированная схема превращений включает 70 реакций между 35 компонентами и пригодна как химический модуль перспективных моделей внутрицилиндровой динамики ДВС.

Относительное отличие индикаторных (силовых, энергетических) характеристик, рассчитываемых по оптимизированной и полной схеме, не превышает 5 %. Отметим, что оптимизированная схема была получена путем объединения двух частично оптимизированных схем – для режима холостого хода и номинальной нагрузки. Существенно, что выделенные авторами ключевые реакции в большинстве своем признаны также определяющими горение нефтяного топлива в условиях жидкостных ракетных двигателей [11].

Выводы. Разработана динамическая модель внутрицилиндровых процессов поршневого ДВС, позволяющая рассчитывать как интегральные и мгновенные энергетические показатели, так и токсичность отработавших газов. Модель позволяет сконструировать минимальную кинетическую схему, адекватно отражающую динамические свойства современных поршневых двигателей. Указаны перспективные направления совершенствования разработки и возможности ее применения для техники и технологий, сопряженных с использованием химических энергоносителей на транспорте.

Библиографический список

1. Якубовский Ю. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды / Ю. Якубовский. – М.: Транспорт, 1979.

2. Беднарский В.В. Экологическая безопасность при эксплуатации и ремонте автомобилей / В.В. Беднарский. – Ростов н/Д: Феникс, 2003.

3. Зельдович Я.Б. Окисление азота при горении / Я.Б. Зельдович, П.Я. Садовников, Д.А. Франк-Каменецкий. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1947.

4. Пат. Расчет энерго-экологических параметров ДВС «ENGINE» / Ю.И. Булыгин и др. – ПрЭВМ № 2002610605. – М.: РОСПАТЕНТ, 2002.

5. Тихонов А.Н. Система дифференциальных уравнений, содержащих малые параметры при производных / А.Н. Тихонов // Мат. сб. – 1952. – Т. 31 (73). – № 3. – С. 575.

6. Колчин А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – М.: Высш. шк., 2002. – 496 с.

7. Пат. Информационно-математические модели внутрицилиндровых процессов в поршневом двигателе: механизмы, уравнения, термодинамические и кинетические коэффициенты / О.В. Яценко. – БД № 2004620137. – М.: РОСПАТЕНТ, 2004.

8. Бакулин В.Н. Моделирование кинетики неравновесных физических процессов и реакций в многокомпонентном турбулентном заряде поршневых двигателей внутреннего сгорания / В.Н. Бакулин, Е.Н. Ладоша, В.А. Потопахин, О.В. Яценко // Мат. моделирование. – 2007. – Т. 19. – № 12. – С. 81–97.

9. Колесниченко А.В. Турбулентность многокомпонентных сред / А.В. Колесниченко, М.Я. Маров. – М.: Наука, 1999.

10. Яценко О.В. Генератор подробных компьютерных моделей динамики реагирующего газа: новое программное обеспечение системных исследований в технике и экологии / О.В. Яценко, Е.Н. Ладоша // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естественные науки. – 2006. – № 1. – С. 50–59.

11. Яхимовски К. Дж. Упрощенный механизм горения углеводородного топлива / К.Дж. Яхимовски // Аэрокосмическая техника. – 1986. – № 6. – С. 148–156.

References

1. Yakubovskii Yu. Avtomobil'nyi transport i zaschita okrujayuschei sredy / Yu. Yakubovskii. – M.: Transport, 1979. – in Russian.

2. Bednarskii V.V. Ekologicheskaya bezopasnost' pri ekspluatacii i remonte avtomobilei / V.V. Bednarskii. – Rostov n/D: Feniks, 2003. – in Russian.

3. Zel'dovich Ya.B. Okislenie azota pri gorenii / Ya.B. Zel'dovich, P.Ya. Sadovnikov, D.A. Frank-Kameneckii. – M.-L.: Izd-vo AN SSSR, 1947. – in Russian.

4. Pat. Raschet energo-ekologicheskih parametrov DVS «ENGINE» / Yu.I. Bulygin i dr. – PrEVM № 2002610605. – M.: ROSPATENT, 2002. – in Russian.

5. Tihonov A.N. Sistema differencial'nyh uravnenii, soderjaschih malye parametry pri proizvodnyh / A.N. Tihonov // Mat. sb. – 1952. – T. 31 (73). – № 3. – S. 575. – in Russian.

6. Kolchin A.I. Raschet avtomobil'nyh i traktornyh dvigatelei / A.I. Kolchin, V.P. Demidov. – M.: Vyssh. shk., 2002. – 496 s. – in Russian.

7. Pat. Informacionno-matematicheskie modeli vnutricilindrovyh processov v porshnevom dvigatele: mehanizmy, uravneniya, termodinamicheskie i kineticheskie koefficienty / O.V. Yacenko. – BD № 2004620137. – M.: ROSPATENT, 2004. – in Russian.

8. Bakulin V.N. Modelirovanie kinetiki neravnovesnyh fizicheskih processov i reakcii v mnogokomponentnom turbulentnom zaryade porshnevyh dvigatelei vnutrennego sgoraniya / V.N. Bakulin, E.N. Ladosha, V.A. Potopahin, O.V. Yacenko // Mat. modelirovanie. – 2007. – T. 19. – № 12. – S. 81–97. – in Russian.

9. Kolesnichenko A.V. Turbulentnost' mnogokomponentnyh sred / A.V. Kolesnichenko, M.Ya. Marov. – M.: Nauka, 1999. – in Russian.

10. Yacenko O.V. Generator podrobnyh komp'yuternyh modelei dinamiki reagiruyuschego gaza: novoe programmnoe obespechenie sistemnyh issledovanii v tehnike i ekologii / O.V. Yacenko, E.N. Ladosha // Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestvennye nauki. – 2006. – № 1. – S.50–59. – in Russian.

11. Yahimovski K. Dj. Uproschennyi mehanizm goreniya uglevodorodnogo topliva / K.Dj. Yahimovski // Aerokosmicheskaya tehnika. – 1986. – № 6. – S. 148–156. – in Russian.

Материал поступил в редакцию 24.05.10.

E.N. LADOSHA, D.S. TSYMBALOV, O.V. YATSENKO

INFORMATION MODELING AND SYSTEM DYNAMICS INTERPRETATION OF CONVENTIONAL ENGINES

An original improvement of modern information models of conventional engine is proposed. Within the model all internal as well as external processes related to engine are integrated to a general system. Additional procedure to simulate nitric oxide kinetics in a combustion chamber is elaborated. The problem of exhaust toxicity is solved in relation to partial engine loads. Compared to prototypes the model enables to estimate engine toxicity appreciably more precise.
Key words: reciprocator, combustion, kinetics, vorticity, information model, smoothing, exhaust, toxicity.

ЛАДОША Евгений Николаевич (р. 1978), доцент (2008) кафедры «Информационные технологии» Донского государственного технического университета, докторант (2009), кандидат технических наук (2006). Окончил факультет «Автоматизация и информатика» Донского государственного технического университета (2002).
Область научных интересов: информационное моделирование технических систем, технологических процессов и антропогенных воздействий на окружающую природную среду.
Автор 12 программ и баз данных, зарегистрированных ФИПС (РОСПАТЕНТ).
Автор более 50 публикаций.

ladoscha@mail.ru

ЦЫМБАЛОВ Денис Сергеевич (р. 1988), ассистент кафедры «Электротехника и электроника» Донского государственного технического университета.
Область научных интересов: оптимизация технических систем, рационализация технологических процессов, снижение негативных индустриальных воздействий на персонал и окружающую природную среду.
Автор 5 программ и баз данных, зарегистрированных ФИПС (РОСПАТЕНТ).
Автор 10 публикаций.

den_constructor@mail.ru

ЯЦЕНКО Олег Вадимович (р. 1966), доцент (2002) кафедры «Прикладная математика» Донского государственного технического университета, кандидат физико-математических наук (1992). Окончил факультет молекулярной и химической физики Московского физико-технического института (1989).
Область научных интересов: информационное моделирование технических систем, технологических процессов и антропогенных воздействий на окружающую природную среду.
Автор 18 программ, баз данных и авторских свидетельств, зарегистрированных ФИПС (РОСПАТЕНТ).
Автор более 100 публикаций.

oleg_v_yatcenko@mail.ru

Evgeny N. LADOSHA (1978), Associate Professor (2008) of the Information Technologies Department, Don State Technical University. Post-doctoral student (2009). Candidate of Science in Engineering (2006). He graduated from the faculty of the Information Technology and Automation Faculty (2002), Don State Technical University.
Research interests: computer modeling of technical systems, technology and human impact.
Author of more than 50 scientific publications and 12 patented computer codes.

ladoscha@mail.ru

Denis S. TSYMBALOV (1988), Teaching Assistant of the Electrical Department, Don State Technical University.
Research interests: technical systems optimization, technological improvement, technology and environment protection.
Author of 10 publications and 5 patented computer codes.

ladoscha@mail.ru

Oleg V. YATSENKO (1966), Associate Professor (2002) of the Mathematics Department, Don State Technical University. Candidate of Science in Physics and Maths (1992). He graduated from the f Molecular and Chemical Physics Faculty, Moscow Physics and Technology Institute (1989).
Research interests: computer modeling of technical systems, technology and human impact.
Author of more than 100 publications and 18 patented computer codes and models.

oleg_v_yatcenko@mail.ru

УДК 636.085.7: 036.94

В.В. КИРЕЕВА

МИКРОБНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОТХОДОВ ВЕГЕТАТИВНОЙ МАССЫ РАСТЕНИЙ С ПОЛУЧЕНИЕМ КОРМОВ ДЛЯ ЖВАЧНЫХ

Изложены результаты разработки способа утилизации побочных продуктов фракционирования вегетативной массы бобовых трав биоконверсией, позволяющего получать корм для сельскохозяйственных животных, не уступающий по своим показателям традиционным.
Ключевые слова: *вегетативная масса растений, пресс-остаток, микробная трансформация, смесь штаммов лактобактерий, силос, биологическая ценность.*

Введение. Приготовление кормов из бобовых трав, которые обладают высокой питательностью с содержанием 16 % и более протеина, – один из реальных путей решения проблемы сокращения дефицита белка в рационах животных.

Традиционным кормом для жвачных является силос, приготовленный из одно- и многолетних трав. Основные силосные культуры – кукуруза и подсолнечник, в период уборки имеют высокую влажность, что является главной причиной больших потерь питательных веществ при хранении.

Бобовые многолетние травы, характеризующиеся самым высоким содержанием белка, являются трудносилосуемым сырьем из-за высокого содержания протеина и воды. Приготовление из них доброкачественного корма, не значительно уступающего по качеству исходной вегетативной массе, возможно только их силосованием после провяливания до 30–40 % сухих веществ с использованием химического консервирования. Но при провяливании неизбежны высокие полевые потери, а применяющиеся консерванты дороги и неудобны в хранении.

Снижение влажности зеленой массы может быть произведено механическим отжимом, после которого она разделяется на пресс-остаток и клеточный сок. В кормопроизводстве из клеточного сока получают протеиновые зеленые концентраты (ПЗК), использующиеся в рационах сельскохозяйственных животных.

При этом пресс-остаток обедняется по белку и другим питательным веществам, в результате чего не рассматривается как полноценный корм для животных, является побочным продуктом.

Однако пресс-остаток содержит 55–75 % протеина и других веществ от их количества в исходной листостебельной массе. Он обладает более низкой влажностью и содержанием белка по сравнению с исходной массой, что создает предпосылки для его эффективного силосования.

В связи с этим актуальной является разработка способов утилизации субпродуктов, образующихся при влажном фракционировании зеленой массы, обеспечивающих минимальные потери питательных веществ при получении и хранении приготавливаемых из них кормов.

Постановка задачи. Ресурсосберегающий способ утилизации побочных продуктов переработки вегетативных органов сельскохозяйственных растений основан на микробной трансформации пресс-остатка – введении препарата молочнокислых бактерий с получением доброкачественного корма.

В экспериментальных исследованиях использовалась вегетативная масса бобовых трав, выращиваемых в хозяйствах Ростовской области и в ботаническом саду Южного федерального университета: люцерны синегибридной, клевера белого, клевера красного, эспарцета обыкновенного, астрагала обыкновенного, донника белого, донника желтого, чины луговой, вики посевной, люпина белого.

Для снижения влажности материала вегетативную массу люцерны провяливали в полевых условиях и механически обезвоживали с получением пресс-остатка.

Утилизацию пресс-остатка проводили силосованием с консервантами, ферментацией (введением ассоциации культур молочнокислых бактерий). Для контроля на силос закладывали провяленную массу и пресс-остаток без введения консервантов и закваски.

При консервировании применяли химические агенты, как и в кормопроизводстве, – хлорид натрия, органические кислоты (уксусная, бензойная, муравьиная), их сочетания и смеси с формалином.

Для микробиологического заквашивания силосуемой массы использовали ассоциацию культур молочнокислых бактерий рода *Lactobacillus*: *L. acidophillus BKM*-317/402; *L. casei BKM*- 321; *L. plantarum* 8 *P A*-3 (в равных пропорциях), приобретенную в Ростовском противочумном институте. Ассоциация штаммов является депонированной во всероссийской коллекции микроорганизмов (Москва).

Определяли оптимальные режимы консервирования, ферментации фитомассы и пресс-остатка, химический состав, биохимические показатели и биологическую ценность получаемых кормов.

При этом выясняли отношение суммы незаменимых аминокислот к сумме заменимых (НАК/ЗАК). Потенциальную величину биологической ценности (*BV*) рассчитывали исходя из того, что продуктивное использование незаменимых аминокислот определяется уровнем первой лимитирующей. Для получения потенциальной величины биологической ценности необходимо знать различия аминокислотного скора [1]. Коэффициент эффективности белка *PER,* учитывающий содержание метионина, тирозина, лейцина, гистидина, рассчитывали по методу М.П. Черникова [2]. В расчетных показателях биологической ценности по Митчеллу–Блоку ($BV_{М–Б}$) [3] учитывался максимальный дефицит первой лимитирующей аминокислоты в процентах; коэффициент использования белка (φ) по Бражникову–Рогову [4] – содержание первой лимитирующей аминокислоты и сумму незаменимых аминокислот в препарате и по шкале ФАО/ВОЗ [5].

Сравнительное изучение состава и свойств вегетативных органов бобовых трав и продуктов фракционирования их фитомассы проводили с целью выявления наиболее перспективных культур для комплексной переработки с получением кормовых продуктов для жвачных.

По содержанию протеина в листостебельной массе все исследованные культуры отвечали установленным нормам для силоса (не менее 14,5 %). Наиболее высокое содержание протеина впресс-остатках наблюдалось у люцерны и клевера. Вследствие чего в соответствии с комплексным подходом к фракционированию биомассы предпочтение должно быть отдано данным культурам растений. В дальнейших экспериментах была использована вегетативная масса люцерны синегибридной.

Чтобы получить доброкачественный силос из пресс-остатка, его отжимали в различных режимах до 66, 68 и 70 % влажности (СВ 34, 32 и 30 %), укладывали в емкости для силосования, закрывали полиэтиленовыми крышками и оставляли в подвале при постоянной температуре +14–15 ^{o}С. Срок хранения составлял 6 месяцев.

При уменьшении влажности пресс-остатка происходило снижение содержания сырого протеина по сравнению с исходной массой, так как часть белка уходила с клеточным соком. Наиболее высокий уровень протеина и других питательных веществ обнаружен в пресс-остатке, полученном при минимальной степени обезвоживания – до содержания сухих веществ около 30 %.

При механическом обезвоживании массы изменялось сахаропротеиновое отношение, так как при отжиме с клеточным соком удалялось больше белка, чем легкогидролизуемых углеводов, что вело к относительному повышению их содержания в массе, созданию благоприятных условий для развития молочнокислых бактерий и заквашивания корма.

В процессе хранения происходило снижение содержания питательных веществ в силосуемой массе всех серий опытов и накопление органических кислот.

Было установлено, что лучшими показателями качества обладали корма при минимальном снижении влажности пресс-остатка и вегетативной массы, провяленной также до минимальной степени обезвоживания, поэтому для исследований был выбран пресс-остаток с содержанием сухих веществ (СВ) около 30 % и вегетативная масса, провяленная до содержания СВ – 30 %.

В экспериментах с введением консервантов потери сухих веществ и протеина в процессе хранения в пресс-остатке были ниже по сравнению с необработанной массой. Наибольший консервирующий эффект оказывали муравьиная, бензойная кислоты и их сочетание. Потери питательных веществ при их применении были ниже в процессе заквашивания, содержание молочной кислоты – выше. Поэтому в дальнейших исследованиях использовались корма из провяленной массы и пресс-остатка, полученные при введении муравьиной кислоты.

Однако во всех вариантах консервирования пресс-остатка получался корм, по питательной и энергетической ценности, содержанию продуктов брожения превышающий полученный без консервантов, а также из провяленной массы, но все же удовлетворяющий требованиям ГОСТ к силосу не выше 2–3 класса.

В следующей серии опытов изучалась возможность приготовления силоса из биомассы анаэробной ферментацией – введением смеси штаммов молочнокислых бактерий рода *Lactobacillus.*

Согласно имеющимся сведениям [6], на основной и конечной (через 60 суток) стадиях брожения ведущую роль играют молочнокислые бактерии – *Lactobacillus plantarum, L. brevis, L. acidophillus*; на последней стадии силосования обнаруживаются также в довольно большом количестве слабоферментирующие штаммы *L. casei.* При выборе микроорганизмов для молочнокислой закваски мы руководствовались этими соображениями.

Закваска для силосования готовилась из маточного раствора и содержала 950–1000 млн клеток молочнокислых бактерий в 1 мл суспензии. Активная культуральная жидкость составляла 1 % от массы растительного сырья.

Исследование микрофлоры проводили в отделе эпидемиологии Ростовского противочумного института. Общее количество бактерий определяли высевом в чашках Петри на модифицированной среде для лактобактерий МРС-1 на основе гидролизата молока.

Определялось содержание в кормах молочнокислых бактерий и других видов микроорганизмов, накопление продуктов брожения, биохимические показатели.

В пробе силоса из провяленной массы люцерны через 6 месяцев хранения наблюдались признаки заплесневения, отмечалось наличие дрожжей и грибковой микрофлоры.

В пробах силоса из пресс-остатка с введением лактобактерий, *pH*-баланс был равен 4,3, количество лактобактерий составляло 10^3 мк/г, маслянокислые бактерии отсутствовали. Количество дрожжей и грибковой микрофлоры составляло 60–55 мк/г, гнилостные микроорганизмы не высевались.

Введенная бактериальная закваска совместно с эпифитной микрофлорой зеленой массы в анаэробных условиях эффективно заквашивала корм. В результате бурного развития лактобактерий в процессе ферментации часть углеводов жома сбраживалась с образованием и накоплением в среде органических кислот в оптимальных соотношениях. За счет этого *pH* среды снижался, и достигалась стабилизация питательных веществ продуктов.

Сохранность протеина и других питательных веществ в силосе, полученном из пресс-остатка с введением микробной закваски, выше, чем в опытах с провяленной массой, консервантами и без них. Потери протеина составляли 5,61–5,62 %, что было самым низким показателем во всех экспериментах, обеспечивающим лучшее качество продукта.

Во всех вариантах количество клеток лактобактерий было ниже величины, вводимой в массу при заквашивании.

Это объясняется тем, что в начальной стадии ферментации (от 8 до 15 суток) происходит активное размножение молочнокислых бактерий, накопление их в силосуемой массе и подавление конкурентной эпифитной микрофлоры [6].

После достижения максимального количества микроорганизмов в среде дальнейшая ферментативная активность снижается, и часть молочнокислых бактерий отмирает. Постепенное уменьшение общего числа бактерий начинается после 15 суток силосования и охватывает примерно 60 суток. Количество микроорганизмов за это время снижается примерно до миллиона. Быстрое размножение бактерий до высокого пика, за которым следует резкое уменьшение количества жизнеспособных клеток, считается показателем хорошего процесса брожения.

В наших экспериментах отсутствие лактобактерий в контрольном образце не противоречит имеющимся в литературе данным [6, 7]. О микробиологических изменениях, происходящих при длительном хранении силоса (4 и более месяцев), мало сведений. К тому же не приводится разграничений между ростом бактерий и их выживанием в этот период. Отмечена также нерегулярность развития в силосе молочнокислых бактерий: в одних образцах они доминировали, в других полностью отсутствовали независимо от того, был ли силос хорошего или плохого качества.

Полученные препараты подвергались аминокислотному анализу, на основании которого рассчитывались величины показателей биологической ценности белков корма.

Содержание аминокислот варьировалось в зависимости от способа консервирования. При традиционных способах кормопроизводства в результате провяливания и консервации неизбежны процессы деструкции части термолабильных аминокислот, окисления и химической модификации серосодержащих, серина, треонина, разрушения части лизина и аргинина.

Силос из законсервированного пресс-остатка по показателям биологической ценности уступал корму из провяленной массы, что было связано с разрушением части незаменимых аминокислот при прессовании и последующем хранении жома (табл.1).

Таблица 1

Расчетные показатели биологической ценности кормов из пресс-остатка и провяленной листостебельной массы люцерны после химической обработки

Продукт	Показатель				
	НАК/ЗАК	*BV*	*PER*	$BV_{М–Б}$	φ
Силос из законсервированной провяленной массы	0,78 ±0,20	31,55 ±0,30	7,13 ±0,27	76,87 ±0,28	0,39 ±0,15
Силос из законсервированного пресс-остатка	0,88 ±0,31	30,35 ±0,42	6,28 ±0,12	78,95 ±0,32	0,36 ±0,21

Влияние негативных факторов снижается при использовании микробной трансформации биомассы. Полученный данным способом корм из пресс-остатка по комплексу показателей биологической ценности не уступал продуктам, полученным традиционными способами.

Отношение суммы незаменимых аминокислот к сумме заменимых (НАК/ЗАК) в силосе из пресс-остатка было на уровне корма из провяленной массы и составляло 1,1.

По величине показателя биологической ценности по Митчеллу–Блоку ($BV_{М–Б}$), коэффициенту использования белка φ, данный препарат не уступал, а по показателю биологической ценности *BV* и коэффициенту эффективности белка *PER* превышал корм из провяленной массы (табл.2).

Таблица 2

Показатели биологической ценности кормов из пресс-остатка и провяленной массы после биоконверсии

Продукт	Показатель				
	НАК/ЗАК	*BV*	*PER*	$BV_{М–Б}$	φ
Силос из провяленной массы с введением лактобактерий	1,11 ±0,14	35,29 ±0,43	5,81 ±0,17	76,64 ±0,55	0,40 ±0,11
Силос из пресс-остатка с введением лактобактерий	1,09 ±0,11	46,69 ±0,53	6,82 ±0,17	76,64 ±0,43	0,40 ±0,12

Известно, что при анаэробной ферментации процессы окисления ненасыщенных жирных кислот и фенолов менее выражены, чем при использовании других консервирующих агентов [8, 9]. Это оказывает положительное влияние на качество и вкусовые свойства получаемого продукта. По имеющимся данным [10], в процессе ферментации биомассы растений инактивируются такие нежелательные компоненты, как ингибитор трипсина, сапонины, продукты распада хлорофилла.

Полученный корм имел коричневато-зеленый цвет, приятный запах квашеных овощей, сохранял свою структуру. По органолептическим показателям, химическому составу, энергетической ценности и содержанию органических кислот корм из пресс-остатка, полученный при анаэробной ферментации, отвечал требованиям ГОСТ к силосу 2-го класса [11].

Эксперименты по скармливанию силоса из пресс-остатка люцерны, полученного микробной трансформацией, проводились на лактирующих коровах красной степной породы в возрасте 3 лет. При определении среднесуточного надоя животных установлено, что в группе, получавшей корм с введением силоса из пресс-остатка люцерны, он был практически на уровне надоя животных, получавших рацион с традиционно приготовленным кукурузным силосом, и составлял 9,76–9,77 л.

На основании полученных результатов составлена технологическая схема получения кормов из побочных продуктов влажного фракционирования вегетативной массы сеяных трав с биоконверсией пресс-остатка.

Вегетативная масса из приемного устройства (питателя) с помощью транспортера зеленой массы поступает в измельчитель, затем в пресс для отжима, в результате которого разделяется на остаток и зеленый сок. Полученный сок из пресса через фильтрующее устройство поступает в резервуар для сбора, после чего используется для приготовления протеинового зеленого концентрата (ПЗК).

Образующийся в виде побочного продукта остаток из пресса по транспортеру подается на силосование с введением культур микроорганизмов.

Приготовление молочнокислой закваски производится из маточного раствора ассоциации культур молочнокислых бактерий рода *Lactobacillus*: *L. acidophillus* ВКМ-317/402; *L. casei BKM*-321; *L. plantarum* 8 *P A*-3.

Культуры микроорганизмов засеваются на приготовленный субстрат, после чего инкубируются в термостате при 40 ^{o}C в течение 6 часов. Полученный засевной материал бактерий поступает в резервуар для молочнокислой закваски.

Остаток из пресса по транспортеру подается в смеситель. Культуры бактерий из резервуара для молочнокислой закваски дозирующим устройством вносятся в пресс-остаток в количестве 1 % по его массе.

Смесь пресс-остатка и молочнокислых бактерий подается в траншею для приготовления силоса. Траншея с заквашиваемой массой закрывается полиэтиленовой пленкой и оставляется на хранение.

Выводы. Разработанный способ утилизации пресс-остатка, образующегося в виде побочного продукта при переработке вегетативной массы бобовых сеяных трав, основанный на биотрансформации – введении смеси штаммов культур молочнокислых бактерий, обеспечивает получение доброкачественного корма для жвачных, снижение потерь продуктов растениеводства, сокращение времени, средств и сохранение питательных веществ по сравнению с традиционно применяемыми методами.

Библиографический список

1. Alsmeyer R.H., Cunningham A.E., Happich N.Z. Equations Product PER from amino acid Analisis // Food Technology. – 1974. – № 28. – P. 34–70.

2. Черников М.П. Потенциальная величина биологической ценности белков кормовых культур / М.П. Черников // Доклады ВАСХНИЛ. – 1986. – № 8. – С. 27–29.

3. Mitchell H.H., Block K.J. Some relationships the amino acid contents of protein and their values for the rdt // J. Biol. Chem. – 1976. – № 163. – P. 599–620.

4. Бражников А.М. К вопросу об оценке качества пищевых продуктов / А.М. Бражников // Изв. вузов. Пищевая технология. – 1971. – № 1. – С. 153–155.

5. FAO/ WHO ad hoc expert commitee, Energy and protein Requirements. – WHO Techical Report Series. Rome, Italy. – 1973. – № 522. – P. 22–71.

6. Квасников Е.И. Молочнокислые бактерии и пути их использования / Е.И. Квасников, О.А. Нестеренко. – М.: Наука. – 1975. – 389 с.

7. Победнов Ю.А. Вторичная ферментация и аэробная порча силоса: причины возникновения и способы устранения / Ю.А. Победнов // Кормопроизводство. – 2005.– № 11. – С. 24–29.

8. Беккер М.Е. Биотехнология / М.Е. Беккер. – М., 1982. – 268 с.

9. Кузнецов Д.М. Акустическая эмиссия при фазовых превращениях в водной среде / Д.М. Кузнецов, А.Н. Смирнов, А.В. Сыроешкин // Рос. хим. журн. – 2008. – Т. LII. – № 1. – С.114–121.

10. Коганов М.М. Комплексный подход к влажному фракционированию зеленых растений с получением кормового и пищевого белка, лекарств и биостимуляторов / М.М. Коганов // Mechanizacija u agrocompleksu. Zbornik zadova sa simposiuma. – Obrenovac. – 1990. – P. 193–200.

11. ГОСТ 23638–1991. Силос. Технические условия.

References

1. Alsmeyer R.H., Cunningham A.E., Happich N.Z. Equations Product PER from amino acid Analisis // Food Technology. – 1974. – № 28. – P. 34–70.
2. Chernikov M.P. Potencial'naya velichina biologicheskoi cennosti belkov kormovyh kul'tur / M.P. Chernikov // Doklady VASHNIL. – 1986. – № 8. – S. 27–29. – in Russian.
3. Mitchell H.H., Block K.J. Some relationships the amino acid contents of protein and their values for the rdt // J. Biol. Chem. – 1976. – № 163. – P. 599–620.
4. Brajnikov A.M. K voprosu ob ocenke kachestva pischevyh produktov / A.M. Brajnikov // Izv. vuzov. Pischevaya tehnologiya. – 1971. – № 1. – S. 153–155. – in Russian.
5. FAO/ WHO ad hoc expert commitee, Energy and protein Requirements. – WHO Techical Report Series. Rome, Italy. – 1973. – № 522. – P. 22–71.
6. Kvasnikov E.I. Molochnokislye bakterii i puti ih ispol'zovaniya / E.I. Kvasnikov, O.A. Nesterenko. – M.: Nauka. – 1975. – 389 s. – in Russian.
7. Pobednov Yu.A. Vtorichnaya fermentaciya i aerobnaya porcha silosa: prichiny vozniknoveniya i sposoby ustraneniya / Yu.A. Pobednov // Kormoproizvodstvo. – 2005.– № 11. – S. 24–29. – in Russian.
8. Bekker M.E. Biotehnologiya / M.E. Bekker. – M., 1982. – 268 s. – in Russian.
9. Kuznecov D.M. Akusticheskaya emissiya pri fazovyh prevrascheniyah v vodnoi srede / D.M. Kuznecov, A.N. Smirnov, A.V. Syroeshkin // Ros. him. jurn. – 2008. – T. LII. – № 1. – S.114–121. – in Russian.
10. Koganov M.M. Kompleksnyi podhod k vlajnomu frakcionirovaniyu zelenyh rastenii s polucheniem kormovogo i pischevogo belka, lekarstv i biostimulyatorov / M.M. Koganov // Mechanizacija u agrocompleksu. Zbornik zadova sa simposiuma. – Obrenovac. – 1990. – R. 193–200.
11. GOST 23638–1991. Silos. Tehnicheskie usloviya. – in Russian.

Материал поступил в редакцию 24.05.10.

V.V. KIREYEVA

MICROBIAL TRANSFORMATION OF VEGETATIVE PLANT MASS RESIDUES WITH OBTAINING FEEDSTUFF FOR RUMINANTS

The results of the developed method of utilizing by-products of vegetative leguminous grass mass fractionating by bioconversion are presented. It makes possible to obtain feedstuff of equal worth to the traditional one for agricultural animals.
Key words: vegetative plant mass, press-remainder, microbial transformation, mixture of lactobacillus strains, silage, biological value.

КИРЕЕВА Валерия Васильевна, профессор (2005) кафедры «Производственная безопасность» Донского государственного технического университета, доктор биологических наук (2005), доцент (2002). Окончила биологический факультет РГУ (1974).
Область научных интересов: комплексная переработка вегетативной массы растений с получением пищевых и кормовых белковых добавок.
Имеет 1 патент на изобретение.
Автор 91 публикации, из них 3 монографии.

gaponov@bgd.rgashm.ru

Valeria V. KIREYEVA, Professor (2005) of the Industrial Safety Department , Don State Technical University. Ph.D. in Biology (2005), Associate Professor (2002). She graduated from the Biological Faculty, Rostov State University (1974).
Research interests: complex processing of vegetative mass of plants with obtaining food and feed protein supplements.
Author of 91 scientific publications, 1 patent of the RF and 3 monographs.

gaponov@bgd.rgashm.ru

УДК 62-784.431:331.45

А.В. ПОТЁМКИНА, Е.С. ЛУКАШ

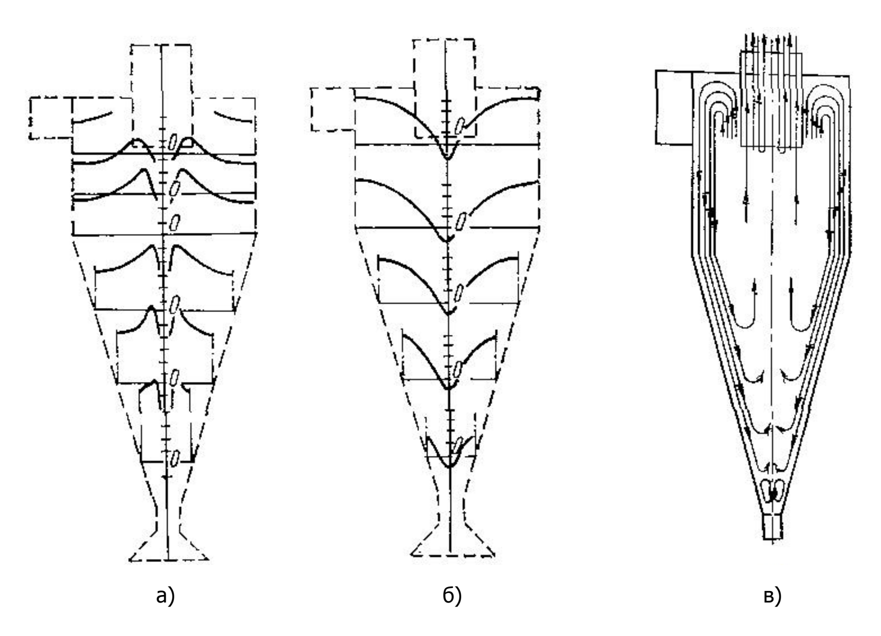
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГЛУБИНЫ ПОГРУЖЕНИЯ ВЫХЛОПНОГО ПАТРУБКА НА АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦИКЛОННЫХ АППАРАТОВ

Рассмотрено влияние конструктивных параметров циклонных аппаратов на их аэродинамические свойства и эффективность. Представлены сравнительные экспериментальные исследования цилиндрического (ЦЦ) и конического циклонов (КЦ). Предложена математическая модель аэродинамических процессов в циклонных аппаратах различной конструкции, которая уточняется экспериментальными данными.
Ключевые слова: *аэродинамика, циклонный аппарат, эффективность, коэффициент гидравлического сопротивления.*

Введение. Циклонные пылеуловители известны более 100 лет. Теории циклонной сепарации посвящено множество работ (В.А. Барт, А.И. Тер-Линден, А.И. Пирумов, Е.А. Штокман, А.А. Русанов и др.). Конструктивные формы циклонных аппаратов разнообразны. Единого критерия для выбора оптимальной формы циклонов еще не существует, однако в конструкциях современных циклонов проявляется тенденция развития конусной части. Зависимость, существующая между геометрической формой циклонов и их эффективностью, оказывает влияние на аэродинамику течений, возникающих в этих аппаратах. Интерес вызывает распределение скоростей по радиусу циклона.

Обзор исследований аэродинамики циклонных пылеуловителей. Изменение скорости газового потока всегда сопровождается изменением существующего в потоке статического давления. В криволинейном потоке наличие центробежных сил обусловливает изменение давления также в направлении, перпендикулярном линиям тока [1].

На рис.1 представлено изменение тангенциальных составляющих скоростей (рис.1,а) и статического давления (рис.1,б), замеренное Тер-Линденом в нескольких поперечных сечениях циклона. Оказалось, что в сечениях, не слишком удаленных от входного, вблизи стенок давление мало отличается от давления во входном патрубке, а тангенциальная составляющая скорости примерно равна средней скорости входа в циклон. Ниже, в особенности в конической части, тангенциальные составляющие скоростей возрастают. Соответственно, увеличивается скоростное давление и уменьшается статическое.



а) б) в)

Рис.1. Изменения, замеренные Тер-Линденом в поперечных сечениях циклона:
а – тангенциальные скорости; б – статическое давление; в – вторичные токи в циклоне

Во всех сечениях в периферийной части потока наблюдается увеличение тангенциальной составляющей скорости по радиусу по мере удаления от стенок циклона, причем форма кривой распределения скоростей близка к гиперболе. Средняя часть потока характеризуется постоянством угловой скорости. Давление падает по радиусу к центру циклона, достигая минимума на оси вращения. Можно с достаточной для практических целей точностью определить разряжение, которое устанавливается в пылесборном бункере циклона.

На практике установлено, что при недостаточной герметизации пылевыпускного тракта происходит интенсивный подсос воздуха, сводящий на нет эффект сепарации [2].

Разряжение в районе пылевыпускного отверстия тем больше, чем больше нагрузка на циклон. При очень небольших скоростях и установке циклона на нагнетание можно добиться возникновения повышенного давления и избежать, таким образом, необходимости в устройстве герметичных бункеров [3].

Наличие радиального градиента давления обусловливает возникновение в циклонах вторичных циркуляционных течений, влияющих на эффективность пылеулавливания. Для частиц воздуха, находящихся в плоскости, удаленной от днища циклона, градиент давления уравновешивается центробежной силой. Вблизи подвижных поверхностей тангенциальная составляющая скорости воздуха вследствие трения уменьшается, следовательно, уменьшается и центробежная сила. Градиент статического давления здесь такой же, как и на большом расстоянии от поверхности, равновесие между силами статического давления и центробежными силами нарушается и возникает реальное течение, направленное к оси вращения, т.е. радиальный или осевой сток. Из условия неразрывности этот сток, в свою очередь, вызывает осевое течение, направленное по внешней нормали к днищу, и подтекание воздуха вдоль образующих цилиндрической части циклона.

На рис.1,в показана схема циркуляции, возникающей в циклоне. В верхней части аппарата вторичные токи сливаются с парным вихрем, образующимся при тангенциальном попадании струи в циклон. Образование парного вихря объясняется тем, что по мере удаления от оси вращения скорость газа уменьшается, вызывая возрастание давления. Повышение давления достигает наибольшей величины в слоях воздуха, прилегающих к внешней границе потока. Под влиянием этого давления воздух перетекает вдоль внешних границ в сторону низких давлений, образуя парный вихрь, вторичный поток. Верхняя часть вторичного вихря устремляется по кратчайшему пути к устью выхлопной трубы, а нижняя, распространяясь вдоль образующих циклона, формирует восходящий поток циклона.

Вторичные токи оказывают большое влияние на эффективность циклонных аппаратов. Верхняя ветвь вихря является кратчайшим путем для выноса пыли в выхлопную трубу. Для ослабления этого влияния увеличивают глубину погружения выхлопной трубы. Исследования, проведенные ранее, показали, что с увеличением глубины погружения выхлопной трубы наблюдается повышение эффективности, связанное, по-видимому, с уменьшением выноса вторичным течением пыли, не успевшей при меньшем погружении за короткое время формирования вращающегося потока перейти из слоев воздуха, опускающихся вдоль выхлопной трубы, в более удаленные слои.

Для каждой схемы циклонов существует оптимальная глубина погружения выхлопной трубы. При превышении этой глубины эффективность снижается, что может быть объяснено увеличением радиальных составляющих скоростей.

Цель настоящего исследования – выявление способов повышения эффективности и улучшения аэродинамических свойств циклонных аппаратов за счет подбора оптимальной глубины погружения выходного патрубка на стадии проектирования.

Экспериментальные исследования. На кафедре «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета в течение последних лет ведется НИР по исследованию аэродинамических характеристик и эффективности пылеулавливания циклонных аппаратов различной формы [4].

Для решения поставленной задачи была собрана экспериментальная установка «Циклон», на которой проводились испытания циклонных аппаратов двух форм: цилиндрического циклона и конического циклона, разработанного на кафедре БЖиЗОС ДГТУ.

Корректность сравнения аэродинамических характеристик циклонных аппаратов, полученных на экспериментальной установке, обеспечивалась равенством заданных конструктивных параметров испытуемых аппаратов, основными из которых являлись объемы рабочей части цилиндров и диаметры входных и выходных патрубков (рис.2).



Рис.2. Общий вид экспериментальной установки

Измерительная установка состоит из испытуемого циклонного аппарата *1*, в теле которого шесть технологических отверстий с заглушками (отверстия расположены на равном расстоянии друг от друга по всей высоте рабочей части циклона, при проведении эксперимента в них устанавливаются приборы для измерения), подводящего трубопровода *2*, дозатора *3*, источника воздушного потока (побудителя расхода воздуха) *4*, комплекта жидкостных манометров *5, 6*.

Была поставлена задача – определить влияние глубины погружения выхлопного патрубка на аэродинамические свойства циклонных аппаратов.

Исследования проводились для конического и цилиндрического циклонов при глубине погружения выхлопного патрубка на 200, 250, 300 и 350 мм. По результатам исследований были построены следующие графики зависимостей:

– статического давления циклонного аппарата от глубины погружения выхлопного патрубка (рис.3);

– сопротивления циклона от глубины погружения выхлопного патрубка (рис.4).

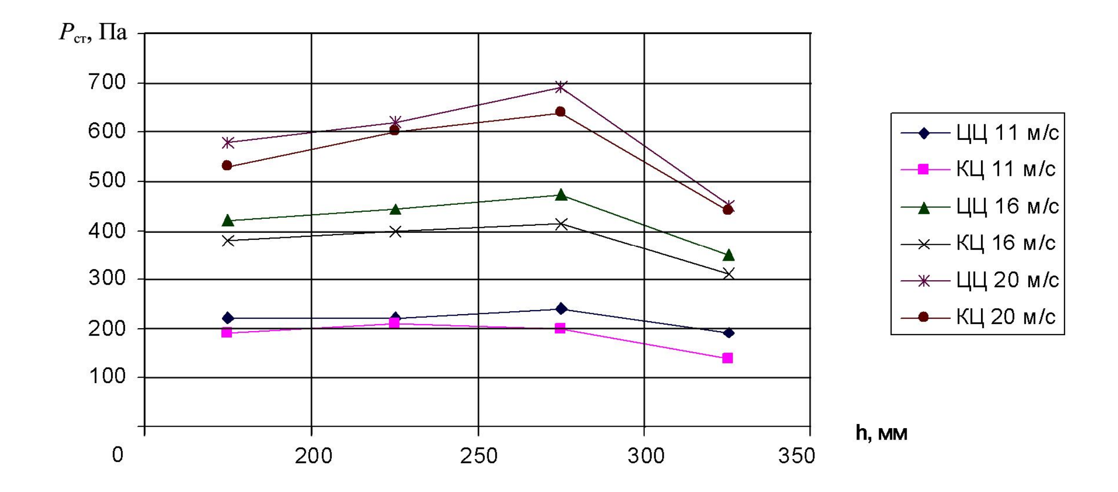


Рис.3. Зависимость статического давления от глубины погружения выхлопного патрубка

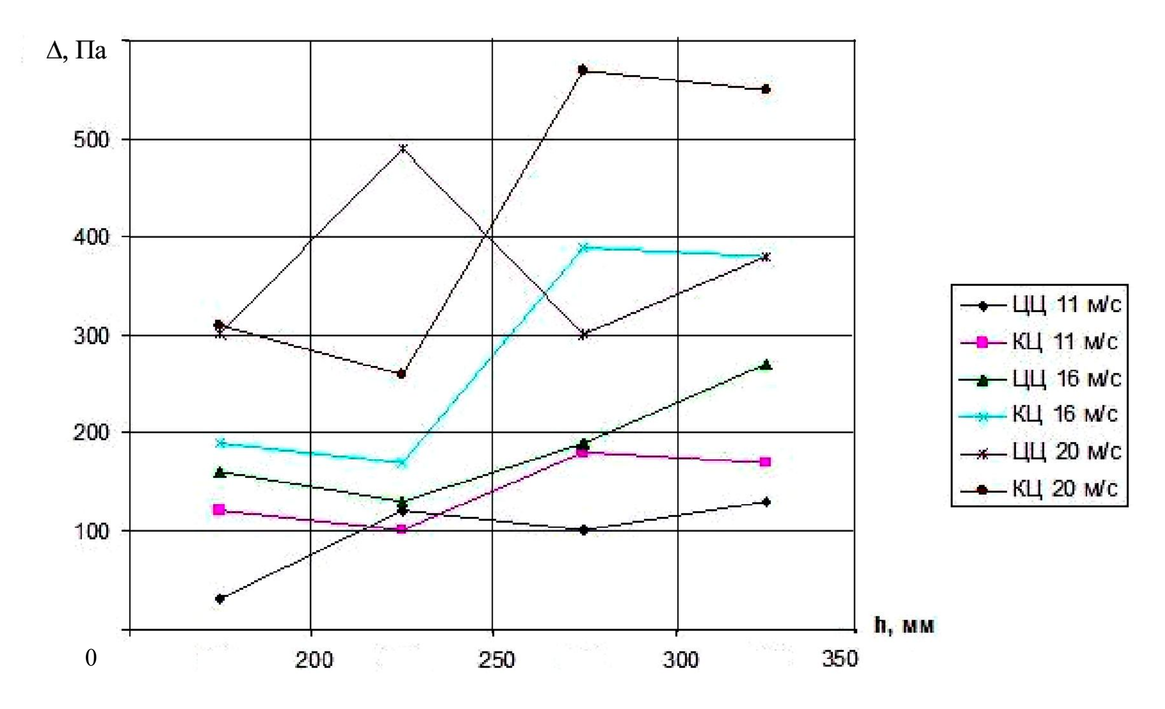


Рис.4. Зависимость сопротивления циклона от глубины погружения выхлопного патрубка

По результатам проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1) С увеличением скорости статическое давление повышается, при одинаковых значениях скорости статическое давление цилиндрического циклона несколько выше, чем конического. Следует отметить, что независимо от скорости воздушного потока, с увеличением глубины погружения выходного патрубка статическое давление несколько увеличивается и, дойдя до своего максимального значения (при глубине погружения 300 мм), опять начинает снижаться. Это свидетельствует о том, что при глубине погружения выходного патрубка 300 мм эффективность пылеулавливания циклонных аппаратов будет максимальной.

2) С увеличением глубины погружения выхлопного патрубка, при одинаковых значениях скоростей, изменения сопротивления циклона у конического аппарата больше, чем у цилиндрического, наиболее четко данный эффект просматривается при скоростях 11–16 м/с. На глубине погружения выходного патрубка 300 мм сопротивление конического циклонного аппарата макси-

мально, что говорит о наибольшей эффективности конического циклонного аппарата данной конструкции на этой глубине. Цилиндрический циклон обладает максимальным сопротивлением при глубине погружения выхлопного патрубка 250 мм, что говорит о наибольшей эффективности цилиндрического циклонного аппарата на данной глубине.

Закономерность на графиках прослеживается недостаточно явно, есть точки, которые отклоняются от ожидаемых величин сопротивления циклона. Для получения более точных данных исследования будут проведены повторно с использованием высокоточного дифференциального манометра Testo-521 (Германия), который также позволяет измерять скорость потока, и обеспечивает погрешность измерений 0,1 Па.

Теоретические исследования. На рис.5,а представлена схема течения и распределения составляющих скорости воздушного потока в циклонном аппарате. В сильно закрученных потоках действующие на пылевые частицы центробежные силы преобладают над силами вязкости, что позволяет рассматривать движение закрученных воздушных потоков как потенциальное [5]. При вихрестоке в соответствии с принципом суперпозиций его можно представить в виде плоского вихря (рис.5,б) и стока (рис.5,в).

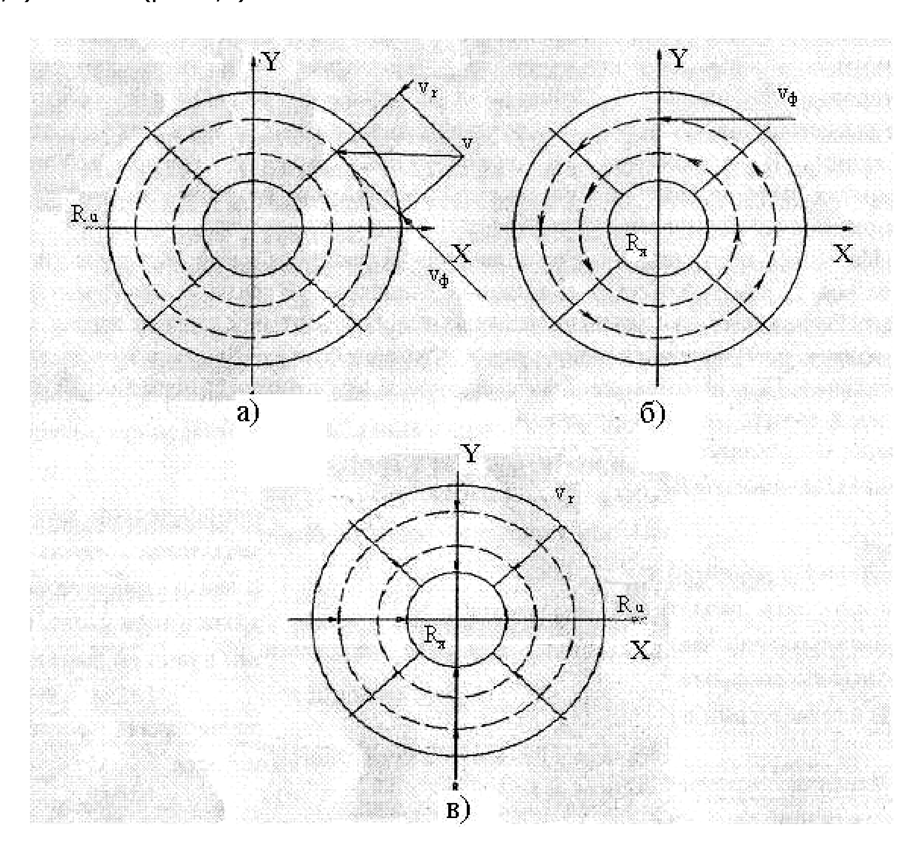


Рис.5. Течения в циклонном аппарате:
а – распределение составляющих скорости воздушного потока;
б – движение закрученных воздушных потоков в виде плоского вихря;
в – движение закрученных воздушных потоков в виде стока

Радиальная скорость воздушного потока v_r составит:

$$\nu_r = \frac{D_u^2 \nu_u}{4 H_u r}, \tag{1}$$

где D_u – диаметр цилиндрической части циклонного аппарата, м; ν_u – скорость воздушного потока в циклонном аппарате, отнесенная к цилиндрической части аппарата, м/с; H_u – высота аппарата в зоне стока, м; r – относительный радиус.

В соответствии с рис.5,б выразим угол через декартовы координаты

$$\varphi = C\mathrm{arctg}(x/y). \tag{2}$$

Частная производная φ по декартовым координатам дает соответствующие скорости:

$$\frac{\partial\varphi}{\partial x} = \nu_x = \frac{\partial}{\partial x}\left(c\mathrm{arctg}\frac{x}{y}\right) = -\frac{Cy}{r^2}, \tag{3}$$

$$\frac{\partial\varphi}{\partial y} = \nu_y = \frac{\partial}{\partial y}\left(c\mathrm{arctg}\frac{x}{y}\right) = -\frac{Cx}{r^2}, \tag{4}$$

где $r^2 = x^2 + y^2$.

Следовательно, тангенциальная скорость воздушного потока в цилиндрической системе координат:

$$\nu_\varphi = \sqrt{\nu_x^2 + \nu_y^2} = \left(\frac{C}{r^2}\right)\sqrt{x^2 + y^2} = \frac{C}{r}\ . \tag{5}$$

Постоянную C определим из уравнения неразрывности потока:

$$L = a_2 \int_{R_l}^{R_u} \nu_\varphi dr, \tag{6}$$

где L – расход воздушного потока,
тогда

$$\nu_\varphi = \frac{\pi D_u^2 \nu_u}{4a_1 r \ln(R_T / R_u)}, \tag{7}$$

где a_1, a_2 – высота и ширина выхлопного патрубка циклонного аппарата, м; R_T, R_u – радиус соответственно выхлопной трубы и корпуса аппарата, м.

Экспериментальные исследования показывают, что в реальных условиях распределение тангенциальной скорости воздушного потока в периферийной зоне аппарата аппроксимируется функцией вида:

$$\nu_\varphi = \frac{C}{r^n} = \frac{\pi D_u^2 \nu_u (1-n)}{4a_1 r^n (R_u^{n-1} - R_T^{1-n})}, \tag{8}$$

где n – эмпирический коэффициент, определяемый по экспериментальным данным.

Величина n меняется по высоте аппарата:

$$\nu_\varphi = \nu_{\varphi н}\left(\frac{\nu_{\varphi н}}{\nu_{\varphi к}}\right)^{\frac{Z-Z_н}{Z_н-Z_к}}, \tag{9}$$

где $\nu_{\varphi н}, \nu_{\varphi к}$ – тангенциальная скорость в верхней и нижней зонах аппарата, м/с; $Z_н, Z_к$ – высоты, соответствующие $\nu_{\varphi н}, \nu_{\varphi к}$.

Центральная часть (ядро) воздушного потока вращается подобно твердому телу

$$v_{\varphi я} = Cr^k, \tag{10}$$

Распределение тангенциальной скорости в ядре и периферийной зоне воздушного потока в циклонном аппарате можно с удовлетворительной точностью аппроксимировать единой функцией вида

$$v_\varphi = v_{\varphi\max}\left[2r/(1+r)\right]^m, \tag{11}$$

где $v_{\varphi\max}$ – максимальная тангенциальная скорость воздушного потока, достигаемая на границе ядра периферийной зоны при $r = r_я$; r – относительный радиус, равный $r = \bar{r} / r_я$, а $\bar{r} = r / R_и$; $\overline{r_я} = r_я / R_и$.

Осевую скорость воздушного потока ν_z в циклонном аппарате представим также через уравнение неразрывности потока:

$$\nu_z = \frac{v_и}{1 - \overline{R_T^2}}, \tag{12}$$

где $\overline{R_T}$ – относительный радиус выхлопной трубы аппарата $\overline{R_T} = R_T / R_и$.

Обобщенной аэродинамической характеристикой закрученного воздушного потока является коэффициент закрутки:

$$К_з = \frac{\nu_{\varphi ср} R_{ср}}{\nu_z R_и}, \tag{13}$$

где $R_{ср}$ – средний радиус входа воздушного потока в аппарат, $R_{ср} = 0,5\left(R_и + R_T\right)$.

Гидравлическое сопротивление циклонного аппарата, отнесенное к цилиндрической части корпуса, рассчитывают по формуле:

$$\Delta P = \xi \frac{\rho v_и^2}{2}, \tag{14}$$

где ρ – плотность пылевой смеси, кг/м^3.

Зная статическое или полное давление до и после аппарата, можно экспериментально определить коэффициент гидравлического сопротивления аппарата:

$$\xi = 2\left(P_н - P_к\right) / \rho v_и^2. \tag{15}$$

Предложенная математическая модель может идентифицируется по экспериментальным данным, полученным с использованием высокоточных приборов. В результате можно уточнить выражения для тангенциальной, радиальной скоростей воздушных потоков, как в ядре, так и в периферийной зоне аппарата. Аппроксимирующие формулы можно получить для цилиндрического и конического циклонов.

Выводы. Установлена закономерность влияния глубины погружения выхлопного патрубка на аэродинамические свойства циклонных аппаратов. Представленная математическая модель может быть использована для более детального расчета циклонных аппаратов разной конструкции по сравнению со стандартными методами расчета.

Библиографический список

1. Пирумов А.И. Обеспыливание воздуха / А.И. Пирумов. – М.: Стройиздат, 1974. – 296 с.
2. Штокман Е.А. Очистка воздуха / Е.А. Штокман. – М.: АСВ, 1999. – 320 с.
3. Падва В.Ю. Оптимальные условия улавливания пыли циклонами / В.Ю. Падва // Водоснабжение и сан. техника. – 1968. – № 4.
4. Михайлов А.Н. Влияние конструктивных особенностей циклонных аппаратов на их аэродинамические свойства / А.Н. Михайлов, Ю.И. Булыгин, С.А. Хлебунов, Е.С. Филь, А.В. Потёмкина, Н.С. Прозоркин // Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго- и ресурсосбережение: сб. тр. XI междунар. науч.-практ. конф. (Туапсе, 7-11 сентября 2009) / Рост. гос. строит. ун-т.
5. Расчет и конструирование устройства аэродинамической пылеочистки вихревыми потоками: метод. указания к практ. работе / Рост. гос. строит. ун-т. – Ростов н/Д, 2007. – 15 с.

References

1. Pirumov A.I. Obespylivanie vozduha / A.I. Pirumov. – M.: Stroiizdat, 1974. – 296 s. – in Russian.
2. Shtokman E.A. Ochistka vozduha / E.A. Shtokman. – M.: ASV, 1999. – 320 s. – in Russian.

3. Padva V.Yu. Optimal'nye usloviya ulavlivaniya pyli ciklonami / V.Yu. Padva // Vodo-snabjenie i san. tehnika. – 1968. – № 4. – in Russian.
4. Mihailov A.N. Vliyanie konstruktivnyh osobennostei ciklonnyh apparatov na ih aerodinamicheskie svoistva / A.N. Mihailov, Yu.I. Bulygin, S.A. Hlebunov, E.S. Fil', A.V. Potemkina, N.S. Prozorkin // Tehnosfernaya bezopasnost', nadejnost', kachestvo, energo- i resursosberejenie: sb. tr. XI mejdunar. nauch.-prakt. konf. (Tuapse, 7-11 sentyabrya 2009) / Rost. gos. stroit. un-t. – in Russian.
5. Raschet i konstruirovanie ustroistva aerodinamicheskoi pyleochistki vihrevymi potokami: metod. ukazaniya k prakt. rabote / Rost. gos. stroit. un-t. – Rostov n/D, 2007. – 15 s. – in Russian.

Материал поступил в редакцию 10.06.10.

A.V. POTEMKINA, E.S. LUKASH

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF IMMERSION DEPTH OF THE EXHAUST PIPE ON THE CYCLONE APPARATUS AERODYNAMIC PROPERTIES AND EFFICIENCY

The influence of cyclone devices design parameters on their aerodynamic properties and efficiency is considered. The comparative experimental studies of cylindrical and conical cyclones are presented. A mathematical model of aerodynamic processes in the cyclone apparatus of various designs which is refined by experimental data is suggested.
Keywords: aerodynamics, cyclone apparatus, efficiency, hydraulic resistance coefficient.

ПОТЁМКИНА Алёна Витальевна, магистрант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета. Окончила Донской государственный технический университет (2008).
Область научных интересов: изучение влияния конструктивных параметров циклонных аппаратов на их аэродинамические свойства и эффективность.
Автор 3 публикаций.

a-potjemkina@mail.ru

ЛУКАШ Егор Сергеевич (р. 1986), магистрант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета. Окончил Ростовский государственный строительный университет (2008).
Область научных интересов: разработка программного обеспечения автоматизированных расчетов оценки влияния производственной деятельности человека на окружающую среду.
Автор 1 публикации.

hronorion@rambler.ru

Alena V. POTEMKINA, Undergraduate of the Life and Environment Protection Sciences Department, Don State Technical University. She graduated from Don State Technical University (2008).
Research interests: influence of cyclone devices design parameters on their aerodynamic properties and efficiency.
Author of 3 scientific publications.

a-potjemkina@mail.ru

Egor S. LUKASH (1986), Undergraduate of the Life and Environment Protection Sciences Department, Don State Technical University. He graduated from Rostov State Construction University (2008, Bachelor of Science).
Research interests: software development of automated calculations assessing the impact on the environment.
Author of 1 scientific publication.

a-potjemkina@mail.ru

УДК 613.6:621.43

Б.Ч. МЕСХИ, Ю.И. БУЛЫГИН, Е.И. МАСЛОВ, Д.А. КОРОНЧИК, Л.Л. ТИРАЦУЯН

МОДЕЛЬ МАССОПЕРЕНОСА ТЯЖЕЛЫХ ПРИМЕСЕЙ В ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ УЧАСТКОВ ОБКАТКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПАСНЫХ ЗОН ЗАГАЗОВАННОСТИ ПО КАНЦЕРОГЕНАМ

Уточнена математическая модель, описывающая процессы переноса и ассимиляции вредных веществ в помещениях участков обкатки в отношении выбросов твердых частиц: сажи и бенз(а)пирена. Модель позволяет прогнозировать качество воздуха в рабочей зоне таких помещений, определять опасные канцерогенные зоны в поле концентраций токсичных газов.
Ключевые слова: *загазованность, канцерогены, концентрация, вентиляция, опасные зоны.*

Введение. Авторами была разработана нестационарная трехмерная математическая модель конвективно-диффузионного распространения вредных веществ в производственном помещении, которая позволила достаточно точно определить поля концентраций в отношении теплых газообразных токсичных веществ, являющихся легкими примесями (аэрозолями) [1]. Однако вопрос распространения и ассимиляции твердых частиц, а именно частиц сажи и бенз(а)пирена, присутствующих в отработанных газах (ОГ), отходящих от стендов обкатки комбайнов, не рассматривался.

Постановка задачи. Известно, что канцерогенные вещества являются наиболее токсичными компонентами ОГ. Ряд коэффициентов относительной агрессивности токсичных компонентов ОГ приведен в работе [2]:

$$K_{CO} : K_{CH} : K_{NOx} : K_{ТЧ} : K_{SOx} : K_{Б(а)П} = 1 : 3{,}16 : 41{,}1 : 41{,}1 : 16{,}5 : 1260000. \quad (1)$$

По сравнению с угарным газом бенз(а)пирен опаснее для человека более чем в миллион раз. Из дисперсионного анализа известно, что дизельная сажа по массе представлена твердыми частицами размера от 0,7 до 15 мкм, которые наиболее опасны для здоровья человека, так как попадают через органы дыхания и переносят частички бенз(а)пирена.

Поэтому расчетные опасные зоны по канцерогенам могут существенно отличаться от зон загазованности, соответственно снижается точность прогнозирования качества воздуха в исследуемых производственных помещениях [1]. Поэтому предпринята попытка уточнить опасные зоны загазованности, рассмотрев распространение тяжелых примесей.

Для решения поставленной задачи необходимо уточнение ранее разработанной математической модели [1] как в отношении интенсивности выделения бенз(а)пирена источником загрязнения (двигатель машины), так и в отношении особенностей распространения твердых частиц, которые определяются скоростью их осаждения в воздушной среде помещения обкатки.

Теоретические положения. Математическая модель переноса. Предложенный метод расчета базируется на созданной численной модели [1] процесса миграции примеси в помещении на основе трехмерного уравнения конвективно-диффузионного переноса вредностей в воздушной среде

$$\begin{aligned} &\partial C/\partial t + \partial(uC)/\partial x + \partial(vC)/\partial y + \partial C(w - w_s)/\partial z = \\ &= \partial/\partial x(A_x\,\partial C/\partial x) + \partial/\partial y(A_y\,\partial C/\partial y) + \partial/\partial z(A_z\,\partial C/\partial z) + \sum Q_i(t)\delta(r - r_i), \end{aligned} \quad (2)$$

где C – концентрация загрязняющего вещества в помещении; $u,v,w,$– компоненты вектора скорости воздушной среды; w_s – скорость подъема/оседания легких/тяжелых примесей; A – коэффициент турбулентного обмена; $Q_i(t)$ – интенсивность выброса вредного вещества от i-го источника в помещении; $\delta(r–r_i)$ – дельта-функция Дирака; $r_i = (x_i, y_i, z_i)$ – координаты источника выброса.

Это уравнение неразрывности потока примеси. Члены, содержащие компоненты скорости $u,v,w,$ в направлении координатных осей x, y, z, описывают конвективный перенос примеси. В правой части уравнения сгруппированы члены, описывающие диффузионную часть.

Для расчета поля скорости воздушного потока в помещении, индуцированного работой вентиляции, делается допущение, что движение воздушной среды в помещении потенциальное, тогда компоненты скорости воздушной среды определяются соотношениями:

$$u = \partial P/\partial x,\ \ v = \partial P/\partial y,\ w = \partial P/\partial z\ ,$$

где P – потенциал.

Уравнение для определения потенциала имеет вид

$$\partial^2 P/\partial x^2 + \partial^2 P/\partial y^2 + \partial^2 P/\partial z^2 = 0\ . \qquad (3)$$

Для решения дифференциальных уравнений (2) и (3) задаются начальные и граничные условия [1].

Распространение тяжелой примеси. Особенности распространения тяжелых примесей определяются в значительной мере собственной скоростью их осаждения, которая зависит от плотности, размеров и формы частиц аэрозоля.

Скорость падения/оседания сферических твердых частиц может быть определена по формуле Стокса, полученной из условия равновесия, действующего на шаровую частицу трех сил (тяжести, сопротивления и поддерживающей):

$$w_s = 1{,}3 \cdot 10^{-2} \rho_i r_i^2\ , \qquad (4)$$

где ρ_i – плотность частиц тяжелой примеси, r_i – радиус частицы.

Таким образом, для определения скорости оседания твердой частицы примеси необходимо знание физических свойств вещества и данных дисперсионного анализа.

Свойства и дисперсионный анализ дизельной сажи. Изучением дисперсионного состава дизельной сажи занимались многие исследователи [3, 4]. В их работах можно найти подробные ссылки на современные исследования в данной области. Утверждения авторов этих исследований зачастую полярно противоположные. В некоторых указывается, что средний размер частиц в выхлопных газах дизельного двигателя колеблется в пределах 0,2–0,3 мкм и слабо зависит от режима работы и типа исследуемого двигателя [3]. В других приведены распределения твердых частиц в выхлопных газах в зависимости от режима работы двигателя и отмечено, что размеры частиц меняются в пределах 1–14 мкм [4].

Столь разные результаты не могут быть отнесены к погрешностям измерений и нет причины сомневаться в корректности проведения экспериментов различными исследователями. Дело в том, что классический процесс конденсации начинается с флуктуаций плотности газового объема с последующим ростом образовавшихся микрочастиц [5]. Поэтому, строго говоря, в распределении частиц по размерам должны присутствовать частицы от молекулярных до макроскопических размеров. Размер микрочастиц определяется конкретными экспериментальными условиями, а универсальной причины ограничения роста частиц просто не существует. На основе разработанного метода голографической регистрации конденсированной фазы в ОГ дизельного двигателя проведены измерения характеристик дисперсного состава ОГ дизельного двигателя КамАЗ-740 при различных режимах работы и изменения дисперсного состава (рис.1).

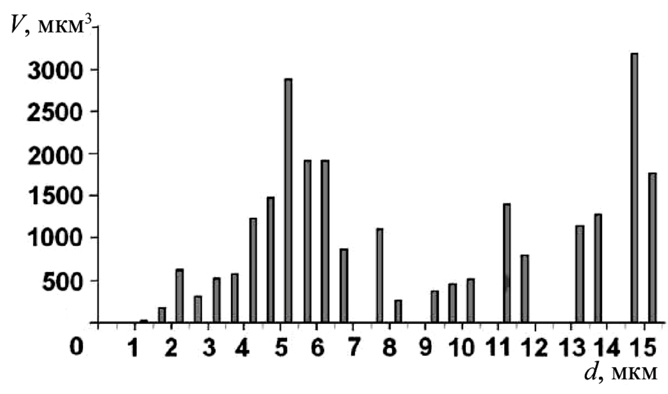


Рис.1. Распределение массы (объема) частиц сажи по диаметрам до каталитического нейтрализатора

Особенностью метода является использование для регистрации голограммы скоростной цифровой камеры с прямым вводом в ПЭВМ и непосредственной компьютерной обработки получаемых результатов. Как видно из гистограммы, наибольшую массу имеют частицы двух характерных диаметров: 5 мкм и 15 мкм. Процесс их распространения можно описывать на основе уравнения (2) модели массопереноса, каждый раз уточняя величину w_s (4). При этом воспользуемся упрощением, что вся масса выбрасываемых частиц имеет диаметр 10 мкм.

Характеристика интенсивности движения газовоздушных потоков и примесей в производственном помещении. Большое влияние на поля концентраций вредные вещества (ВВ) оказывают коэффициенты турбулентной диффузии, входящие в уравнение массопереноса (2).

При турбулентном течении потока и турбулентном переносе коэффициенты $A_П$ пропорциональны диссипируемой энергии и определяющему размеру рассматриваемого источника. Для вентилируемых помещений, зная величину энергии, поступающей в помещение, и определяющий размер источника, можно определить коэффициент турбулентного обмена в плоскости (*x, y*), м^2/с:

$$A_X = A_Y = 0,25\varepsilon^{1/3} l_П^{4/3}, \qquad (5)$$

где ε – кинетическая энергия воздушных потоков в помещении; $l_П$ – определяющий размер помещения для прямоугольных отверстий и сечений неправильной формы, $l_П = \sqrt{F}$ (*F* – площадь сечения помещения, перпендикулярная направлению движения воздушных потоков).

Коэффициент турбулентного обмена по высоте помещения находится из зависимости, предложенной М.Е. Берляндом для наибольших классов устойчивости воздушной среды $A_{ПZ} = A_{Z=1}\left(z/z_1\right)$, что допустимо для исследуемого помещения. Здесь $A_{Z=1}$ – коэффициент турбулентного обмена на высоте 1 м; *z* – текущая высота помещения, м [6].

Кинетическая энергия воздушных потоков в помещении определяется из формулы:

$$\varepsilon = \varepsilon_{ПС} + \varepsilon_{ТС} + \varepsilon_{ДП} - \varepsilon_{ВС},$$

где $\varepsilon_{ПС}$ – энергия приточных струй; $\varepsilon_{ТС}$ – тепловых струй; $\varepsilon_{ДП}$ – движущихся предметов; ε_{BC} – вытяжных струй.

Величины $\varepsilon_{ПС}$ и $\varepsilon_{ТС}$ учитываются в модели рассеивания ВВ:

$$\varepsilon_{ПС} = G_В \xi \nu^2 / 2G_П, \qquad (6)$$

где $G_В$ – масса воздуха, подаваемого в помещение, кг/с, $G_В = L\rho$, где *L* – объемный расход воздуха, м^2/с; ρ – плотность воздуха, кг/м^3; ξ – коэффициент местного сопротивления на выходе из воздухораспределителей (табличные справочные данные); *v* – средняя скорость выхода воздуха из приточных отверстий, м/с; $G_П$ – масса воздуха в объеме помещения, кг, ($G_П = V\rho$).

Учитывая, что кратность воздухообмена $к_р = L/V_П$, где $V_П$ – свободный объем помещения, м^3, после преобразований получаем:

$$\varepsilon_{ПС} = \kappa_p \xi \nu^2/2 = L/V_П \xi \nu^2/2; \qquad (7)$$

$$\varepsilon_{TC} = \frac{E_{ТС}}{G_П} = \frac{g\bar{Q}z}{C_p T_0 \rho}\frac{1+n}{4} \quad \text{или} \quad \varepsilon_{TC} = k\frac{\bar{Q}}{\rho_В}z, \qquad (8)$$

где $\bar{Q}$ – теплонапряженность объема, Вт/м^3, $\bar{Q} = Q_Я/V_П$; $Q_Я$ – теплопоступление явного тепла в помещение, Вт; g – ускорение свободного падения, м^2/с; z – расстояние от полюса до рассматриваемой точки, м: $z = z_п + z_и$, где $z_п$ – расстояние от источника до полюса струи, м; $z_и$ – расстояние от источника до рассматриваемой точки, м; n – экспериментальная константа, n=*0,8*; C_p – теплоемкость воздуха в удалении от источника; T_0 – температура воздуха в удалении от источника, К; $\rho_в$ – плотность воздуха в удалении от источника, кг/м^3; k – коэффициент пропорциональности для нагретой пластины, расположенной на основании, k= 3,43·10^{-6}, расположенной заподлицо с плоскостью, k=18,3·10^{-6}.

Явное теплопоступление в помещение учитывается для источников, оборудованных местными отсосами:

$$Q_Я = C_{\rho ОГ}^{\max} Q_{ОГ}^{\max}(T_{ОГ}^{\max} - T_0)(1 - \varphi_{ОГ})A_Д,$$

а для источников, ими не оборудованных:

$$Q_{Я} = C^{XX}_{\rho ОГ} Q^{XX}_{ОГ} (T^{XX}_{ОГ} - T_0)(1-\varphi_{ОГ}) A_{Д},$$

где $C^{max}_{\rho ОГ}$, $C^{XX}_{\rho ОГ}$ – изобарные теплоемкости ОГ на режимах максимальной нагрузки и холостого хода, Дж/кг·К; $T^{max}_{ОГ}$, $T^{XX}_{ОГ}$ – температура ОГ на различных режимах нагрузки, К; $A_Д$ – количество стендов; φ – степень эффективности работы местного отсоса.

Характеристика источника выделения вредностей. Когда двигатель комбайна работает под нагрузкой, с ОГ через неплотность местных отсосов в штатных условиях или при разрыве отсоса в аварийной ситуации в воздух РЗ поступают токсичные компоненты. Для определения их массового выброса была разработана эмпирическая модель на основе регрессионных полиномов [7].

Функция $Q_i(t)$ может быть определена по формуле:

$$Q_i(t) = C_{iД} Q_{ОГ\ ср\ Д} (1-\varphi_{от}) \big/ 3600, \quad (9)$$

где $C_{iД}$ – концентрация ВВ в ОГ от *i*-го источника загрязнения, г/м^3; $Q_{ОГсрД}$ – расход отработанных газов двигателя комбайна при средней мощности обкатки, м^3/с; $\varphi_{от}$ – эффективность местного отсоса у обкаточного стенда, которая либо рассчитывается, либо принимается равной от 70 до 90 % в зависимости от его конструктивного устройства.

Концентрации ВВ в ОГ для сажи и бенз(а)пирена могут быть вычислены по полиномам, полученным в результате аппроксимации большого числа достоверных экспериментальных данных по выбросам этих веществ (табл.1).

Таблица 1

Концентрации вредных веществ в ОГ комбайновых ДВС в зависимости от режима нагрузки (установившиеся режимы работы двигателя при обкатке)

Концентрации ВВ в ОГ источника загрязнения в зависимости от его относительной мощности	Точность расчетов, R^2
$C_C = 0{,}2114\overline{N}^2 - 0{,}0214\overline{N} + 0{,}0324$, г/м^3	0,9838
$C_{C_{20}H_{12}} = -2{,}2933\overline{N}^3 + 5{,}3143\overline{N}^2 + 0{,}2290\overline{N} + 0{,}4313$, мкг/м^3	1

Для приближенных оценочных расчетов можно воспользоваться данными удельных показателей выбросов сажи и бенз(а)пирена дизельными двигателями при обкатке из нормативной литературы.

Расход ОГ на любом режиме обкатки комбайна (м^3/с), определяется по формуле:

$$Q_{ОГ} = 24{,}353 \varphi_{пр} \beta L_0 \alpha N_e \big/ H_u \eta_i \eta_м \rho_{см}, \quad (10)$$

где $\varphi_{пр}$ – коэффициент продувки, для 2-тактных двигателей φ_{i0} =1,4–1,6; для 4-тактных φ_{i0} =1,1–1,25; β – коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси, определяемый из теплового расчета; α – коэффициент избытка воздуха; H_u – низшая теплота сгорания топлива, Дж/кг; N_e – эфективная мощность двигателя, кВт; L_0 – теоретический расход воздуха на сгорание, кмоль; η_i, η_i – индикаторный и механический КПД двигателя.

Плотность смеси ОГ вычисляли для смеси осредненного состава на режимах прогрева, холостом ходу и при пробеге.

Численное решение уравнений (2) и (3) осуществляется с помощью метода конечных элементов. При решении уравнений предложенной математической модели использовались процедуры из пакета FlexPDE – программы, поддерживающей метод конечных элементов при моделировании объектов с распределенными переменными, описываемыми нелинейными дифференциальными уравнениями с частными производными.

Результаты модельных расчетов. Объект исследования – участок обкатки комбайнов сборочного цеха № 20 ОАО «КЗ "Ростсельмаш"». Исходные данные для модельных расчетов: геометрические параметры помещения обкатки комбайнов (длина – 132 м, ширина – 60 м, высота – 14 м); количество и геометрические размеры стендового оборудования и обкатываемых сборочных единиц; время работы в соответствии с технологическим процессом обкатки; виды и расположение источников загрязнения (обкатываемых машин) и рабочих мест; степень эффективности местных отсосов (70 %); интенсивность движения газовоздушных потоков (входные и выходные скорости);

интенсивность выделения ВВ от источников, полученных по регрессионным полиномам в зависимости от режима обкатки (табл.2); схема организации движения газовоздушных потоков в вентилируемом помещении с различным расположением воздухораспределителей системы механической вентиляции, а также приточных и вытяжных отверстий (рис.2); расчетный период года – теплый и холодный.

Таблица 2

Интенсивность выделения сажи и бенз(а)пирена источником загрязнения

Режим обкатки машины	Максимально разовые выбросы вредных веществ при режимах обкатки комбайна ACROS-530					
	Сажа, г/с			Бенз(а)пирен, г/с		
	Штатный режим, φ=0,7	Авария (отрыв отсоса)	Неисправность обкатываемой машины	Штатный режим, φ=0,7	Авария (отрыв отсоса)	Неисправность обкатываемой машины
Полная нагрузка	0,08706	0,2902	0,87	$8{,}01 \cdot 10^{-7}$	$2{,}67 \cdot 10^{-6}$	$8{,}01 \cdot 10^{-6}$
Средние режимы нагрузки	0,02151	0,0717	0,2151	$0{,}15 \cdot 10^{-6}$	$0{,}5 \cdot 10^{-6}$	$1{,}5 \cdot 10^{-6}$
Холостой ход	–	–	–	–	$0{,}06 \cdot 10^{-6}$	$0{,}18 \cdot 10^{-6}$

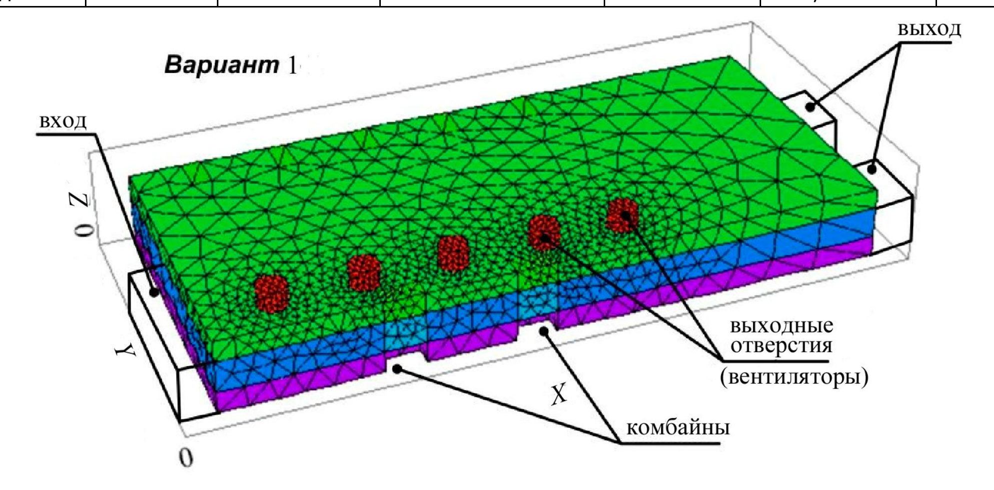


Рис.2. Расчетная схема организации движения газовоздушных потоков в помещении обкатки комбайнов

При проведении модельных расчетов были рассмотрены как штатные режимы работы оборудования на участке обкатки комбайнов, так и различные аварийные ситуации, которые оказывают существенное влияние на формирование полей концентраций ВВ и опасных зон загазованности в помещении.

Под штатным режимом понимается исправная работа всех видов оборудования и систем вентиляции производственного помещения. Загазованность воздуха рабочей зоны создается лишь за счет выделения ВВ от источников, оборудованных негерметичными местными отсосами, а также мест проверки работы кондиционеров комбайнов, которые не оснащены системой локальной вытяжной вентиляции. Таким образом, загазованность определяется фоном, полученным от всех источников загрязнения.

Под аварийными ситуациями на участке обкатки машин понимаются вероятные случаи разрыва местных отсосов, которыми оборудованы все стенды обкатки комбайнов, а также ситуация, когда внезапно выключается общеобменная и аварийная механическая вентиляция. Это наиболее типичные аварийные ситуации для данного производства. Рассмотрены наиболее вероятные и неблагоприятные случаи, причем моделировалось и срабатывание систем защиты (ручное и автоматическое отключение оборудования, включение аварийной вентиляции и т.д.).

Штатный режим работы участка обкатки. Численные эксперименты на модели. Расчетная схема организации движения газовоздушных потоков в помещении обкатки комбайнов соответствует «Варианту 1» (реализован в ОАО «КЗ "Ростсельмаш"») (рис.2). Исправно функционируют системы принудительной общеобменной и местной вентиляций помещения. Поля концентраций бенз(а)пирена в воздухе помещения участка обкатки комбайнов получены при нормальной работе местных отсосов ($\varphi_{ОТ}$ = 0,7) для двух расчетных периодов года (теплого и холодного).

Значения входной и выходной скорости движения воздуха в вентилируемом помещении принимались в диапазоне, установленном нормативными значениями микроклиматических параметров – 0,2 м/с. Поля концентраций бенз(а)пирена рассчитаны по модели на трех характерных срезах по высоте помещения 2, 4, 12 м, что обусловлено реальным расположением разных рабочих мест на участке. В рассматриваемом случае, загазованность производственного помещения создается за счет выделения газов и бенз(а)пирена от семи источников загрязнения, которые определяют фоновые концентрации в воздухе, увеличиваясь с течением времени.

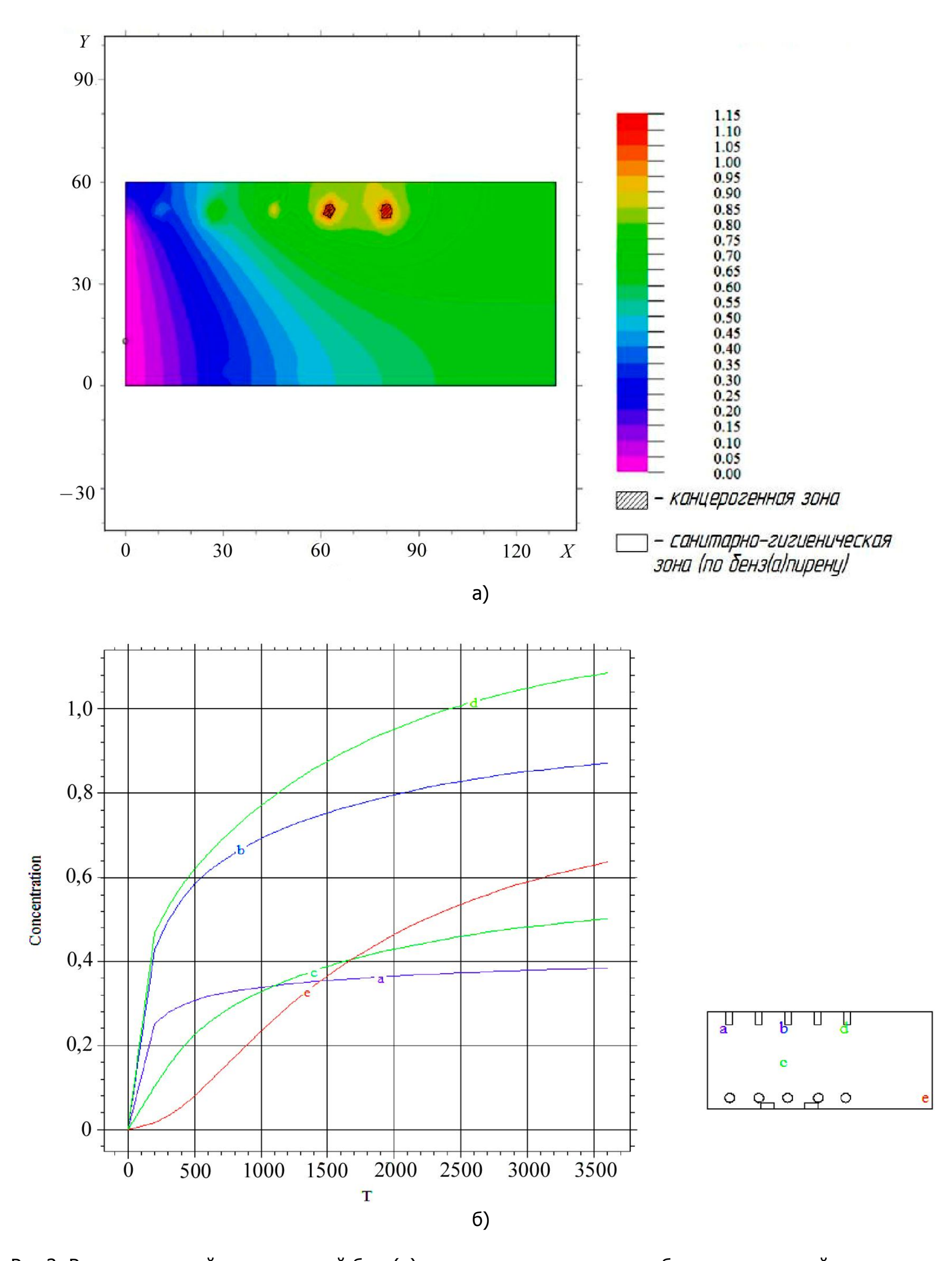


Рис.3. Расчет значений концентраций бенз(а)пирена в воздухе участка обкатки в холодный период года:
а – поля относительных значений концентраций бенз(а)пирена;
б – динамика изменения относительных концентраций бенз(а)пирена

На рис.3,а представлены рассчитанные по модели поля относительных концентраций бенз(а)пирена на высоте 4 м на один час работы участка в холодный расчетный период года. Мак-

симальная концентрация бенз(а)пирена – *x*. Как следует из картин распределения полей концентрации, существенное влияние на их формирование оказывает расчетный период года. Объясняется это влияние тем, что в холодный период года в соответствии с технологией обкатки в течение рабочего часа выездные ворота остаются закрытыми. Результаты модельных расчетов полей подвижности воздуха в помещении участка обкатки подтверждают, что в холодный период года скорости движения газовоздушных потоков в правой части помещения (у выездных ворот) невелики, что создает условия для образования застойной зоны и, как следствие, повышения концентрации в этой части помещения (рис.3,а). Как видно из результатов модельных расчетов, концентрация по бенз(а)пирену превышает установленные предельно допустимые концентрации (ПДК) на 15 % даже в штатном безаварийном режиме работы обкаточного цеха. При открытых въездных и выездных воротах в теплый период года создают хорошие условия для дополнительного проветривания, и превышения нет.

Авария, связанная с вероятным выходом из строя общеобменной вентиляции. Рассмотрим наиболее нежелательную аварийную ситуацию, когда внезапно отключается (не работает) принудительная общеобменная и аварийная вентиляция. Модельные расчеты проведены для теплого и холодного периода года при существующем на предприятии варианте организации воздухообмена помещения.

На рис.4,а, б показаны поля относительной концентрации по бенз(а)пирену. Расчеты произведены при скорости движения воздуха в помещении 0,2 м/с и эффективности местных отсосов 70 %. Следует также отметить, что поля сформированы на час работы, т.е. на максимальное время продолжительности аварийной ситуации.

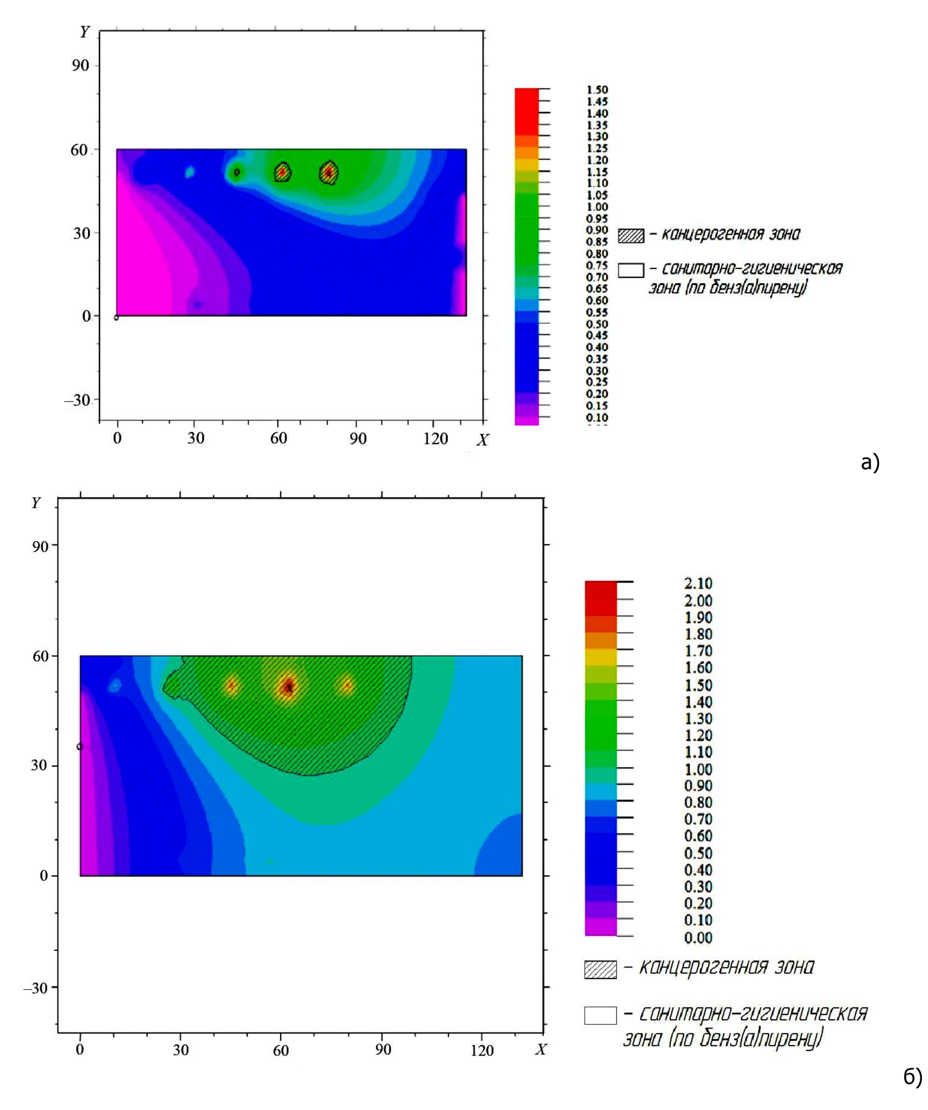


Рис.4. Поля относительных значений концентраций бенз(а)пирена в воздухе участка обкатки в аварийном режиме: а – теплый период года; б – холодный период года

Анализ расчетных полей концентрации (рис.4,а, б) показывает, что при реализации схемы движения газовоздушных потоков по «Варианту 1» опасная канцерогенная зона по бенз(а)пирену в холодный период года достигает почти четверти от площади всего помещения и представляет собой значительную опасность для работающих. В этой канцерогенной зоне три рабочих места, а ПДК превышен более чем в два раза. В теплый период года канцерогенные зоны имеют локальный характер и находятся около двух рабочих мест, но санитарно-гигиенический норматив также превышается в 1,5 раза.

Результаты расчетов доказывают, что в случае неработающей обменной и аварийной вентиляции (а для ряда предприятий России это, к сожалению, штатная ситуация) операторы обкаточных участков находятся в экстремально-негативных условиях.

Авария, связанная с вероятной разгерметизацией местного отсоса. Рассмотрим внезапный «разрыв» крайнего местного отсоса на стенде. На рис.5 показаны картины полей концентраций бенз(а)пирена в воздухе участка обкатки, которые сформировались за разное время. Начальный период работы был штатным (около 40 мин), затем – фаза периода аварии τ_{a1}.

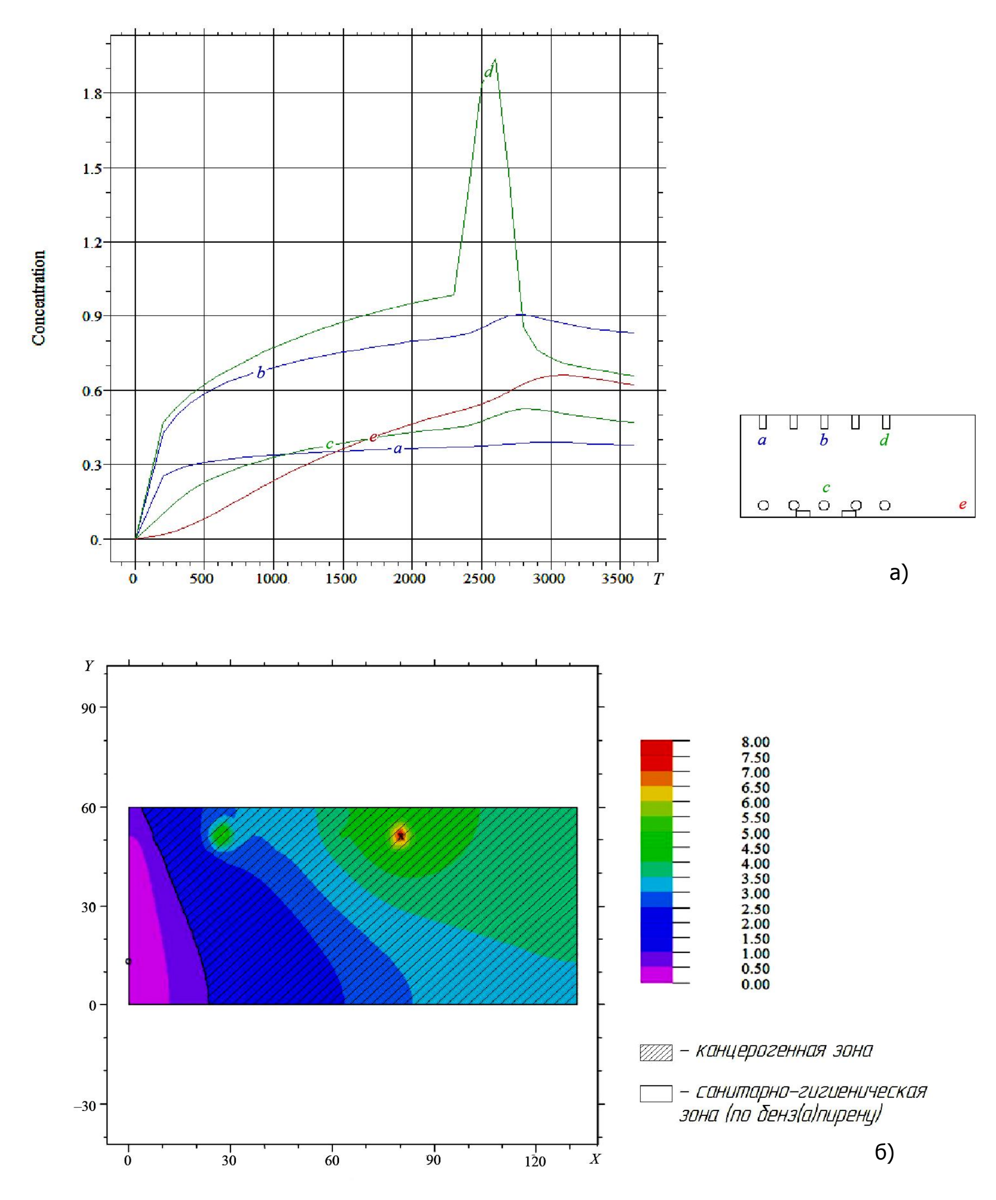


Рис.5. Расчет значений концентраций бенз(а)пирена в воздухе участка обкатки в холодный период года:
а – динамика изменения в течение всего аварийного периода, разрыв крайнего источника, ручное отключение;
б – поля относительных значений концентраций бенз(а)пирена в воздухе участка обкатки во внештатной ситуации

Как видно, при ручном отключении поврежденного стенда и оборудования τ_{a1} = 300 с кратковременно формируется локальная канцерогенная зона бенз(а)пирена (рис.5). После отключения оборудования превышение ПДК концентрации не наблюдается.

Нештатная ситуация, вызванная неисправностью обкатываемых комбайнов. На участке обкатки имеют место случаи, когда один или несколько комбайнов неисправны или не отрегулированы. Выбросы вредных веществ таких комбайнов превышают «паспортные» значения в десять и более раз. Например, комбайны 2 и 5 в холодный период года неисправны (превышение значений по бенз(а)пирену в 10 раз). За один час работы комбайнов площадь, где имеет место превышение ПДК, составила 88,63 % от всей площади обкаточного участка (рис.5,б).

Результаты расчетов и их обсуждение. Полученные результаты при дальнейших исследованиях могут быть уточнены в отношении:

– учета вихревых движений воздушных токов в помещении при расчетах активной вентиляции в загазованных помещениях;

– применения дискретного подхода к расчету распространения твердых частиц с учетом их формы, размера и траектории движения.

Также можно получить поля распределения концентраций сажи в воздухе рабочей зоны в объеме всего помещения.

Выводы. Уточнена математическая модель процессов переноса и ассимиляции вредных веществ в воздушной среде участка обкатки комбайнов в отношении тяжелых примесей.

Получены поля концентрации бенз(а)пирена в воздухе помещения участка обкатки комбайнов, которые позволили определить канцерогенные зоны по бенз(а)пирену, негативно воздействующие на работников в условиях активной вентиляции.

Библиографический список

1. Моделирование процессов переноса и ассимиляции вредных веществ в загазованном помещении участка обкатки / Л.Н. Алексеенко, Б.Ч. Месхи, Е.И. Маслов, Ю.И. Булыгин // Вестн. ДГТУ. – Спецвыпуск. Технические науки. – 2009. Ч.I. – С. 56–69.

2. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие для высшей школы / А.Р. Кульчицкий. – М.: Академический проект, 2004. – 400 с.

3. Мансуров З.А. Сажеобразование в процессах горения / З.А. Мансуров // Физика горения и взрыва. – 2005. – Т. 41. – № 6. – С.137–156.

4. Новоселов А.Л. Совершенствование очистки отработавших газов дизелей на основе СВС-материалов / А.Л. Новоселов, В.И. Пролубников, Н.П. Тубалов. – Новосибирск: Наука, 2002. – 96 с.

5. Климонтович Ю.Л. Статистическая физика / Ю.Л. Климонтович. – М.: Наука, 1982. – 608 с.

6. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985.

7. Моделирование выделения вредных веществ в воздух рабочей зоны участков обкатки машиностроительных предприятий / Л.Н. Алексеенко // Вестник ДГТУ. – 2009. – Т. 9, № 2(41). – С. 271–283.

8. Кузнецов И.С. Моделирование полей концентраций вредных веществ и обоснование воздухообмена в производственных помещениях: дисс. … канд. техн. наук. – Воронеж, 2007. – 125 с.

References

1. Modelirovanie processov perenosa i assimilyacii vrednyh veschestv v zagazovannom pomeschenii uchastka obkatki / L.N. Alekseenko, B.Ch. Meshi, E.I. Maslov, Yu.I. Bulygin // Vestn. DGTU. – Specvypusk. Tehnicheskie nauki. – 2009. Ch.I. – S. 56–69. – in Russian.

2. Kul'chickii A.R. Toksichnost' avtomobil'nyh i traktornyh dvigatelei: ucheb. posobie dlya vysshei shkoly / A.R. Kul'chickii. – M.: Akademicheskii proekt, 2004. – 400 s. – in Russian.

3. Mansurov Z.A. Sajeobrazovanie v processah goreniya / Z.A. Mansurov // Fizika goreniya i vzryva. – 2005. – T. 41. – № 6. – S.137–156. – in Russian.

4. Novoselov A.L. Sovershenstvovanie ochistki otrabotavshih gazov dizelei na osnove SVS-materialov / A.L. Novoselov, V.I. Prolubnikov, N.P. Tubalov. – Novosibirsk: Nauka, 2002. – 96 s. – in Russian.

5. Klimontovich Yu.L. Statisticheskaya fizika / Yu.L. Klimontovich. – M.: Nauka, 1982. – 608 s. – in Russian.

6. Berlyand M.E. Prognoz i regulirovanie zagryazneniya atmosfery / M.E. Berlyand. – L.: Gidrometeoizdat, 1985. – in Russian.

7. Modelirovanie vydeleniya vrednyh veschestv v vozduh rabochei zony uchastkov obkatki mashinostroitel'nyh predpriyatii / L.N. Alekseenko // Vestnik DGTU. – 2009. – T. 9, № 2(41). – S. 271–283. – in Russian.

8. Kuznecov I.S. Modelirovanie polei koncentracii vrednyh veschestv i obosnovanie vozduhoobmena v proizvodstvennyh pomescheniyah: diss. … kand. tehn. nauk. – Voronej, 2007. – 125 s. – in Russian.

Материал поступил в редакцию 15.06.10.

B.Ch. MESKHI, J.I. BULYGIN, E.I. MASLOV, D.A. KORONCHIK, L.L. TIRATSUYAN

MODEL OF MASS TRANSFER OF HEAVY ADMIXTURES IN FANED LOCATIONS OF SECTIONS OF ROLLING AND DEFINITION OF HAZARDOUS ZONES OF THE GASSED CONDITION ON CANCEROGENES

A mathematical model presenting transport processes and assimilation of harmful substances (soot and benzapyrene) in the breaking-in areas is specified. The designed model allows to forecast air quality in the working areas, to define hazardous cancerogenic zones in the deleterious gases concentration fields.
Key words: air pollution, cancerogenes, density, ventilation, hazardous zones.

МЕСХИ Бесарион Чохоевич (р. 1959), ректор Донского государственного технического университета, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды», доктор технических наук (2005), профессор (2007). Окончил Ростовский институт сельскохозяйственного машиностроения (1985).
Область научных интересов: теория и методы обеспечения технологической и производственной безопасности.
Автор более 100 публикаций, 4 учебных пособий.

reception@dstu.edu.ru

БУЛЫГИН Юрий Игоревич (р. 1966), профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» ДГТУ, доктор технических наук (2007), доцент (2002). Окончил РИИЖТ (ныне РГУПС) (1988).
Область научных интересов: исследование рабочих процессов и моделирование процессов образования и выделения вредных веществ в ДВС, улучшение условий труда работников транспортных предприятий.
Автор более 80 научных трудов.

bulyur_rostov@mail.ru.

МАСЛОВ Евгений Игоревич (р. 1985), ведущий специалист по информатизации и учету избирателей в администрации Октябрьского района Ростова-на-Дону, аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды». Окончил Донской государственный технический университет (2007).
Область научных интересов: охрана труда, информационные системы и технологии.
Автор 3 публикаций.

MaJonik@yandex.ru

КОРОНЧИК Денис Алексеевич (р. 1986), аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета. Окончил Донской государственный технический университет (2008).
Область научных интересов: улучшение условий труда работников транспортных и машиностроительных предприятий, защита окружающей среды.
Автор 7 публикаций.

koronchic@mail.ru

ТИРАЦУЯН Левон Леонидович (р. 1986), инженер кафедры «Литье и художественная обработка материалов» Донского государственного технического университета. Окончил Донской государственный технический университет (2008).
Область научных интересов: охрана труда работников машиностроительных предприятий.

e-mail: llevon@mail.ru

BESARION Ch. MESKHI (1959), Rector of Don State Technical University, Head of the Life Safety and Environment Protection Sciences Department (2005). Ph.D. in Science (2005), Professor (2007). He graduated from Rostov Institute of Agricultural Engineering (1985).
Research interests: theory and methods of ensuring technological and industrial safety.
Author of more than 100 scientific publications, 4 monographs and 4 manuals.

reception@dstu.edu.ru

Yury I. BULYGIN (1966), Professor of the Life Safety and Environment Protection Sciences Department, Don State Technical University. Ph.D. in Science (2007), Associate Professor (2002). He graduated from Rostov Institute of Rail Transport Engineering (1988).
Research interests: working processes and processes modeling of formation and allocation of harmful substances in the explosion engines, improvement of working conditions of transport enterprises employees.
Author of more than 80 scientific publications.

bulyur_rostov@mail.ru.

Evgeny I. MASLOV (1985), Senior Scholar in the informatization and voter registration of the October District Administration, Rostov-on-Don. Postgraduate student of the Life Safety and Environmental Protection Department, Don State Technical University. He graduated from Don State Technical University (2007).
Research interests: labour protection, information systems and technologies.
Author of 3 scientific publications.

MaJonik@yandex.ru

Denis A. KORONCHIK (1986), Postgraduate student of the Life Safety and Environment Protection Sciences Department, Don State Technical University. He graduated from Don State Technical University (2008).
Research interests: improvement of working conditions of the transport and engineering factory workers, environmental protection.
Author of 7 scientific publications.

koronchic@mail.ru

Levon L. TIRATSUYAN (1986), Engineer of the Cast and Fancy Metal Working Department, Don State Technical University. He graduated from Don State Technical University (2008).
Research interests: labour protection of the engineering factory workers.

e-mail: llevon@mail.ru

УДК 621.567

М.С. КИЛИНА, В.А. ЧЕРНАВСКИЙ

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ТОРМОЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРОАМОРТИЗАТОРОВ ДЛЯ МЕХАНИЗМОВ МАШИН ПОВЫШЕННОГО БЫСТРОДЕЙСТВИЯ

Проанализированы способы торможения с применением гидроамортизаторов для механизмов машин повышенного быстродействия. Сформулированы задачи совершенствования гидроамортизаторов технологического оборудования.

Ключевые слова: *тормозные устройства, технологическое оборудование, гидросистема, способы торможения, гидравлический амортизатор.*

Введение. В настоящее время с развитием автоматизации производственных процессов функции гидроприводов расширяются и усложняются, так как происходит увеличение скоростей и масс движущихся частей оборудования, а это невозможно без обеспечения безударного торможения и разгона.

Кроме того, повышение скоростей увеличивает производительность, так как время реверса минимально, поэтому при проектировании машин и модернизации необходимо оптимизировать параметры регулирования переходных процессов [1].

Различные способы торможения с применением гидроамортизаторов. Среди многих способов торможения и позиционирования выходного звена необходимо выбрать наиболее подходящий. Каждая группа способов торможения имеет свою специфику, которую следует учитывать для того, чтобы при выборе получить лучшие результаты.

В технологическом оборудовании (автоматических линиях и агрегатных станках) применяют различные виды жестких упоров и амортизаторов. Чем больше количество циклов совершается механизмом, тем большее количество различных видов жестких упоров имеет оборудование. При значительных массах движущихся тел жесткие упоры не обеспечивают безударное торможение, не обеспечивают плавности разгона и торможения [2].

Простые амортизаторы, например, резиновые бамперы и витые пружины, не могут быть пригодны всюду, так как способствуют эффекту возвратного отражения: большая кинетическая энергия, поглощенная этим оборудованием, во время удара опять переносится на тормозимое тело и способствует неконтролируемому удару, который может привести к повреждению затормаживаемого тела.

Одним из известных способов контролируемого торможения движущихся тел является применение жидкостных амортизаторов, которые превращают кинетическую энергию в тепловую с последующим излучением тепловой энергии в атмосферу. Движение, действующее на поршень амортизатора, сдавливает жидкость внутри амортизатора, заставляет ее протекать через дросселирующие отверстия и способствует быстрому нагреву. Тепловая энергия переносится на корпус амортизатора, излучающий ее в атмосферу.

Применение возвратной пружины обеспечивает аккумулирование части кинетической энергии, которая облегчает возврат поршня в начальное положение. Гидропневматический или газовый аккумуляторы применяют для точного регулирования времени, необходимого для возврата поршня в начальное положение, например, в промышленных роботах.

Амортизаторы можно разделить на двухтрубные гидравлические, однотрубные газогидравлические с газом высокого давления и двухтрубные газогидравлические с газом низкого давления (рис.1).

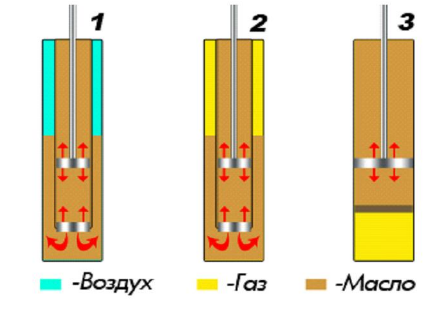


Рис.1. Гидроамортизаторы:
1 – гидравлический двухтрубный;
2 – газогидравлический двухтрубный с газом низкого давления; 3 – гидравлический однотрубный с газом высокого давления

Однотрубные амортизаторы состоят из рабочего цилиндра, в котором газ (как правило, азот) находится в цилиндре и отделен от масла плавающим поршнем под высоким давлением (2–3 МПа). Вся работа по управлению сопротивлением при сжатии и обратном ходе осуществляется поршнем. Такая конструкция амортизатора имеет высокие рабочие характеристики. Кроме того, однотрубные амортизаторы эффективнее охлаждаются, поскольку воздухом обдувается непосредственно рабочий цилиндр. Но однотрубные амортизаторы чувствительны к внешним воздействиям. При небольшой вмятине необходимо заменить амортизатор, тогда как двухтрубные защищены внешним цилиндром. Кроме того, высокая чувствительность к температуре приводит к тому, что при повышении температуры растет давление газового подпора, и амортизатор работает жестче.

Газогидравлические двухтрубные амортизаторы с газом низкого давления применяются преимущественно в автомобилестроении. Вместо воздуха в них применяется азот под давлением от 0,4 до 2 МПа, меньшее давление необходимо при увеличении диаметра цилиндра. Газ под малым давлением не смешивается с маслом слишком активно, что улучшает работу амортизатора.

Гидравлический амортизатор (рис.2), содержит корпус *1* и размещенный в нем плунжер *2*, компенсационную камеру, сообщаемую с источником питания *9*, подплунжерную камеру, соединенную, с компенсационной камерой клапаном и дроссельной щелью, сечение которой уменьшается с ходом поршня, и регулировочное устройство *6* дроссельной щели, где плунжер выполнен с осевым пазом, а регулировочное устройство в виде пластин, закрепленных в соответствующих пазах, и штока *8*, установленного по оси плунжера и взаимодействующего с пластинами.

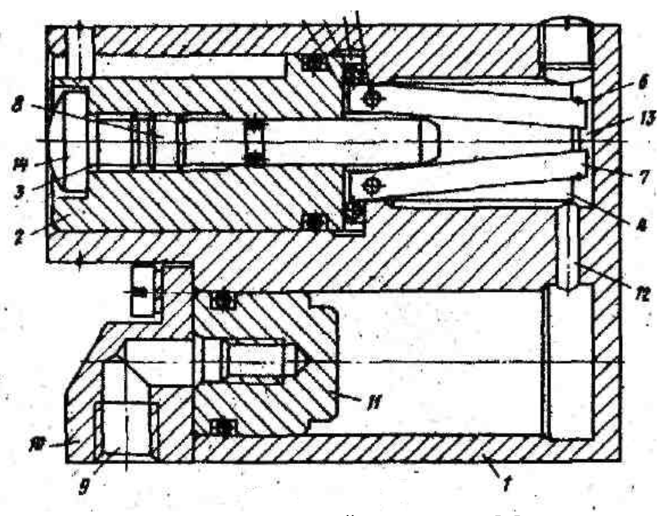


Рис.2. Гидравлический амортизатор [3]

Внутри клапанного амортизатора давление масла поддерживается встроенным предохранительно-переливным клапаном прямого действия.

Произведено исследование динамических процессов клапанного гидравлического амортизатора, моделирование оптимальных условий (масса подвижных частей оборудования, их скорость, давление жидкости и геометрические параметры гидравлического амортизатора) для обеспечения оптимального сочетания скорости торможения и динамических показателей технологического оборудования, на котором применяется амортизатор.

Разработчиками гидроамортизаторов решаются следующие задачи:

– увеличение энергоемкости конструкции гидроамортизатора;

– автономность работы конструкции;

– плавное, без колебаний, изменение давления внутри амортизатора и усилия торможения;

– возможность регулирования пути торможения и величины тормозимой массы;

– уменьшение времени торможения.

Правильность постановки перечисленных задач подтверждает, например, анализ авторских свидетельств [4–14]. Однако решения всего комплекса задач каждая из существующих конструкций не обеспечивает. Некоторые устройства [4, 6, 9, 11, 14] не устраняют колебания тормозного усилия и давления внутри амортизатора.

В других [7, 8, 10, 12] предусмотрены меры по ослаблению колебаний тормозного усилия, однако это приводит к существенному усложнению конструкции. Также к усложнению конструкции приводят решения по регулированию пути торможения и величины тормозимой массы [4, 6, 10, 11, 13, 14].

Следует отметить решения, удачные с точки зрения внедрения сформулированных выше задач: использование программируемого изменения проходного сечения дроссельного отверстия

гидроамортизатора [10, 12]; стабилизация и регулирование усилия торможения с использованием клапана [7]; для регулировки сопротивления дроссельного отверстия применение линейного дросселя в виде резьбового канала [6]; для увеличения тормозного усилия в конце хода использование эффекта гидравлической пружины [5]; для ослабления колебания тормозного усилия и регулировки амортизаторов использование комбинированной отсечной кромки [4].

Выводы. Анализ схемотехнических решений по гидроамортизаторам показывает, что известные конструкции не решают всех задач регулирования торможения, поэтому работу по совершенствованию гидроамортизаторов следует продолжить.

Библиографический список

1. Чернавский В.А. Математическая модель и динамический расчет клапанных амортизаторов / В.А. Чернавский // Прогрессивные технологические процессы в металлургии и машиностроении. Экология и жизнеобеспечение. Информационные технологии в промышленности и оборудование: сб. тр. науч.-техн. конф. (Ростов н/Д, 07–09 сент., 2005). – Ростов н/Д, 2005.

2. Сиротенко А.Н. Математическая модель клапанного гидравлического амортизатора / А.Н. Сиротенко, В.А. Чернавский // Гидропневмосистемы технологических и мобильных машин: сб. науч. тр. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1998.

3. А. с. 715850 СССР. Гидравлический амортизатор / Б.И. Говзман, П.О. Водопьянов; опубл. 1980, Бюл. № 06.

4. А. с. 1597469 СССР. Гидравлический амортизатор / В.Г. Пруцков, В.А. Чернавский, А.Ф. Сидоров, Е.Я. Литвинов; опубл. 1990, Бюл. № 37.

5. А. с. 1337577 СССР. Гидравлический тормоз / Б.Н. Борисов; опубл. 1987, Бюл. № 34.

6. А. с. 1293405 СССР. Гидравлический буфер / В.В. Анисимов, В.А. Широков, А.В. Алексеев; опубл. 1987, Бюл. № 31.

7. А. с. 1252568 СССР. Гидропневматическое энергопоглощающее устройство / Н.Г. Зуб, Ю.К. Титов; опубл. 1986, Бюл. № 31.

8. А. с. 1132080 СССР. Пневматический демпфер / Г.В. Крейнин, К.С. Солнцева, И.Л. Кривц; опубл. 1984, Бюл. № 48.

9. А. с. 1067259 СССР. Демпфирующее устройство / В.М. Гуслиц; опубл. 1984, Бюл. № 02.

10. А. с. 1030599 СССР. Гидравлический амортизатор / Г.Ф. Робин, А.Ф. Сидоров; опубл. 1983, Бюл. № 27.

11. А. с. 996769 СССР. Гидравлический амортизатор / В.Г. Пруцков, А.Ф. Сидоров, В.Г. Пентегов и др.; опубл. 1983, Бюл. № 06.

12 А. с. 941755 СССР. Амортизатор / О.В. Бойков; опубл. 1982, Бюл. № 25.

13. А. с. 842296 СССР. Гидравлический демпфер / А.А. Рекиш, А.В. Горностай; опубл. 1981, Бюл. № 24.

14. А. с. 638767 СССР. Гидравлический буфер / Г.Е. Бурков, А.А. Горшков; опубл. 1978, Бюл. № 47.

References

1. Chernavskii V.A. Matematicheskaya model' i dinamicheskii raschet klapannyh amortizatorov / V.A. Chernavskii // Progressivnye tehnologicheskie processy v metallurgii i mashinostroenii. Ekologiya i jizneobespechenie. Informacionnye tehnologii v promyshlennosti i oborudovanie: sb. tr. nauch.-tehn. konf. (Rostov n/D, 07–09 sent., 2005). – Rostov n/D, 2005. – in Russian.

2. Sirotenko A.N. Matematicheskaya model' klapannogo gidravlicheskogo amortizatora / A.N. Sirotenko, V.A. Chernavskii // Gidropnevmosistemy tehnologicheskih i mobil'nyh mashin: sb. nauch. tr. – Rostov n/D: Izdatel'skii centr DGTU, 1998. – in Russian.

3. A. c. 715850 SSSR. Gidravlicheskii amortizator / B.I. Govzman, P.O. Vodop'yanov; opubl. 1980, Byul. № 06. – in Russian.

4. A. s. 1597469 SSSR. Gidravlicheskii amortizator / V.G. Pruckov, V.A. Chernavskii, A.F. Sidorov, E.Ya. Litvinov; opubl. 1990, Byul. № 37. – in Russian.

5. A. s. 1337577 SSSR. Gidravlicheskii tormoz / B.N. Borisov; opubl. 1987, Byul. № 34. – in Russian.

6. A. s. 1293405 SSSR. Gidravlicheskii bufer / V.V. Anisimov, V.A. Shirokov, A.V. Alekseev; opubl. 1987. Byul. № 31. – in Russian.

7. A. s. 1252568 SSSR. Gidropnevmaticheskoe energopogloschayuschee ustroistvo / N.G. Zub, Yu.K. Titov; opubl. 1986, Byul. № 31. – in Russian.

8. A. s. 1132080 SSSR. Pnevmaticheskii dempfer / G.V. Kreinin, K.S. Solnceva, I.L. Krivc; opubl. 1984, Byul. № 48. – in Russian.
9. A. s. 1067259 SSSR. Dempfiruyuschee ustroistvo / V.M. Guslic; opubl. 1984, Byul. № 02. – in Russian.
10. A. s. 1030599 SSSR. Gidravlicheskii amortizator / G.F. Robin, A.F. Sidorov; opubl. 1983, Byul. № 27. – in Russian.
11. A. s. 996769 SSSR. Gidravlicheskii amortizator / V.G. Pruckov, A.F. Sidorov, V.G. Pentegov i dr.; opubl. 1983, Byul. № 06. – in Russian.
12 A. s. 941755 SSSR. Amortizator / O.V. Boikov; opubl. 1982, Byul. № 25. – in Russian.
13. A. s. 842296 SSSR. Gidravlicheskii dempfer / A.A. Rekish, A.V. Gornostai; opubl. 1981, Byul. № 24. - in Russian.
14. A. s. 638767 SSSR. Gidravlicheskii bufer / G.E. Burkov, A.A. Gorshkov; opubl. 1978, Byul. № 47. – in Russian.

Материал поступил в редакцию 04.06.10.

M.S. KILINA, V.A. TCHERNAVSKIY

ANALYSIS OF BRAKING MODES WITH APPLICATION OF HYDROSHOCK ABSORBERS FOR MECHANISMS OF INCREASED OPERATION SPEED

Braking modes with application of hydroshock-absorbers for MECHANISMS OF INCREASED OPERATION SPEED are analyzed. Improvement tasks of hydroshock-absorbers for process equipment are formulated.
Key words: braking gear, process equipment, hydrosystem, braking modes, hydroshock-absorber.

КИЛИНА Мария Степановна, аспирант кафедры «Гидравлика, гидропневмоавтоматика и тепловые процессы» Донского государственного технического университета. Окончила Донской государственный технический университет (2006).
Область научных интересов: гидропривод и гидропневмоавтоматика.
Автор трех публикаций.

mariya-kilina@yandex.ru

ЧЕРНАВСКИЙ Владимир Александрович (р. 1937), доцент кафедры «Гидравлика, гидропневмоавтоматика и тепловые процессы» Донского государственного технического университета. Окончил Ростовский институт сельхозмашиностроения (ДГТУ) (1991).
Область научных интересов: гидропривод и гидропневмоавтоматика.
Автор 154 публикаций, 20 авторских свидетельств и патента.

tcher37@mail.ru

Maria S. KILINA, Postgraduate student of the Hydraulics, Hydropneumoautomation and Heat Processes Department, Don State Technical University. She graduated from Don State Technical University (2006).
Research interests: hydraulic drive and hydropneumoautomation.
Author of 3 scientific publications.

mariya-kilina@yandex.ru

Vladimir A. TCHERNAVSKIY (1937), Associate Professor of the Hydraulics, Hydropneumoautomation and Heat Processes Department, Don State Technical University. He graduated from Rostov Institute of Agricultural Engineering (1991).
Research interests: hydraulic drive and hydropneumoautomation.
Author of 154 scientific publications, 20 certificates of authorship and patents.

tcher37@mail.ru

УДК 631.3.631.311:631.6.075.8

Н.В. МАТЕГОРИН, А.П. БАБИЧЕВ, Г.В. ЧУМАЧЕНКО

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВИБРОДОВОДКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ПО ПЛОСКОЙ КОЛЕБЛЮЩЕЙСЯ ПОВЕРХНОСТИ

Представлены результаты разработки и экспериментальные испытания метода вибродоводки (притирки) цилиндрических деталей путем обкатывания по плоской колеблющейся поверхности. Данный метод является нетрадиционным, так как совмещает доводку и вибротранспортирование.
***Ключевые слова**: абразивная обработка, вибродоводка, притирка, колеблющаяся плоская поверхность, цилиндрическая деталь, ролик, абразивная поверхность, доводка.*

Введение. Вибродоводка (притирка) цилиндрических деталей широко используется в технологии изготовления ряда изделий: роликовых подшипников качения, втулочно-роликовых цепей, плунжерных пар топливных и гидравлических насосов, поршневых пальцев двигателей и т.д.

Вибродоводка цилиндрических деталей. Метод и опытное устройство, предлагаемые авторами, предназначены для повышения производительности при доводке за счет непрерывной обработки потока деталей, который может быть многоканальным (многоручьевым). В вибрационных конвейерах процесс транспортирования сочетается с технологическими операциями, такими, как просеивание, сушка, разделение деталей по свойствам, к ним добавляется возможность абразивной обработки деталей, в нашем случае, цилиндрических.

Теоретические исследования вибродоводки показали зависимость интенсивности обработки от времени, размеров и материала деталей, характеристик выбранного абразивного материала, режимов работы устройства (амплитуды, частоты, угла разворота притира относительно оси вибратора, выбранного угла относительно горизонтали), силы микроударов, возможности использования верхнего пригруза, высоты его расположения, жесткости закрепления абразива [1].

Исследования проводились по схемам вибрационной обработки, основанным на использовании инерционного и эксцентрикового приводов (рис.1).

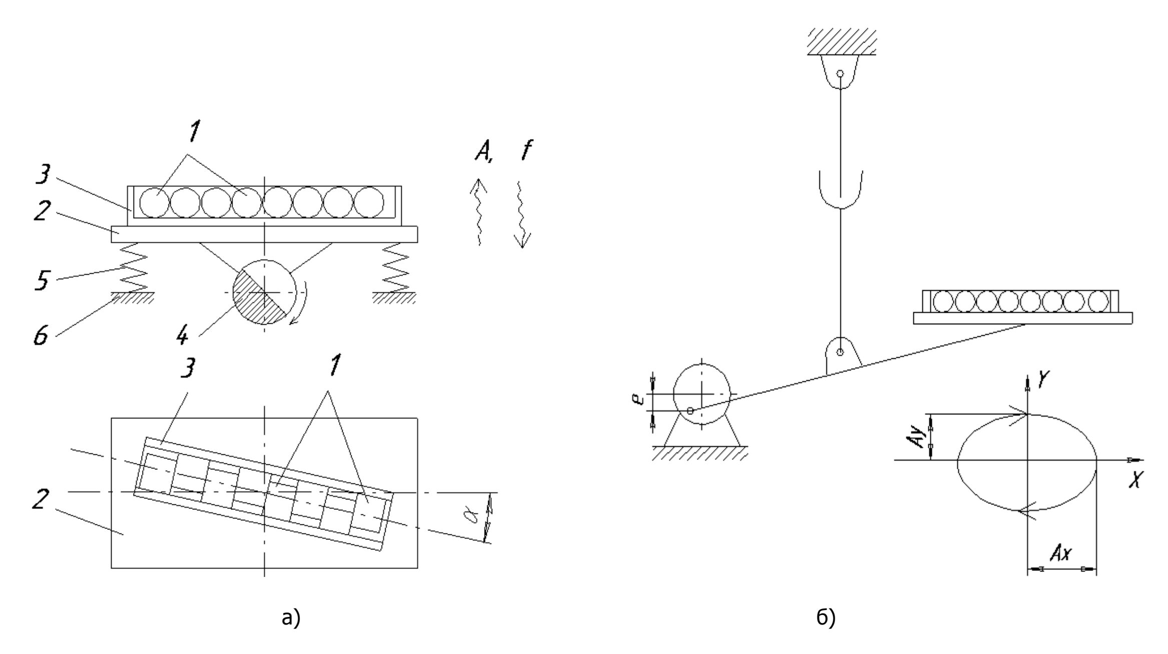


Рис.1. Вибрационные установки, основанные на использовании приводов:
а – инерционного; б – эксцентрикового

После помещения в приспособление цилиндрические образцы перемещаются в режиме подбрасывания вдоль притира по его поверхности, при этом каждый период колебаний сопровождается перемещением роликов на некотором участке траектории совместно с притиром; затем происходит «отрыв» образца от притира и его свободный «полет» на некотором участке; образец по поверхности притира проскальзывает и перекатывается; процесс сопровождается дискретным проворачиванием (вращением) обрабатываемой детали и скольжением по поверхности притира, покрытого абразивным материалом; отмечается возвратно-поступательное движение; обрабатываемая деталь за период колебаний перемещается в осевом направлении от одной боковой стенки притира к противоположной и обратно [2, 3].

Кинематической основой доводочных процессов является наличие вращения с окружной скоростью $V_о$, возвратно-поступательного движения $V_{в.п}$ и радиального давления q. Удельное давление абразивного покрытия на обрабатываемую поверхность детали обеспечивается параметрами колебаний (амплитуда A и частота f), углом наклона рабочей плоскости к горизонту (α), массой детали, а также возможным дополнительным ограничением.

В лаборатории вибротехнологий ДГТУ разработана и изготовлена экспериментальная установка «Устройство для вибрационной абразивной обработки цилиндрических деталей» (рис.2) для исследования возможности вибродоводки цилиндрических деталей предлагаемым методом, получен патент на полезную модель [4, 5].



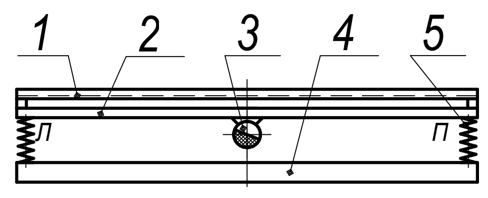


Рис.2. Устройство для вибрационной абразивной обработки цилиндрических деталей

Притир *1*, выполненный в виде лотка прямоугольного сечения с жестко закрепленным на дне абразивным покрытием, располагается вдоль вибростола *2* и крепится винтами и гайками через пружинные шайбы. Это позволяет легко изменять его положение в горизонтальной (относительно продольной оси вибростола) и вертикальной плоскостях.

Вибростол устанавливается на пружинах *5*, обеспечивающих ему необходимую свободу колебаний, его продольная ось перпендикулярна оси вала вибратора *3*. Пружины имеют определенные размеры, которые находят расчетным путем. Жесткость пружин, также зависящая от их размеров и модуля упругости материала, достаточная для того, чтобы частота собственных колебаний системы была меньше частоты вибрации машины, тогда вынужденные колебания совершаются в более устойчивом для работы вибростанка режиме. Кроме того, станок имеет возможность работать как с полной нагрузкой, так и в холостом режиме. При полной нагрузке величина прогиба пружин не превышает допустимый прогиб, чтобы не разрушить нормальную работу клиноременной передачи.

Установившиеся режимы движения с подбрасыванием могут иметь место при выполнении условия [1]:

$$\xi = \frac{A\omega^2 \sin\beta}{g\cos\alpha} > 1 \ ,$$

где ξ – параметр перегрузки; A – амплитуда, м; ω – угловая частота, рад/с; g – ускорение свободного падения, g = 9,81 м/с^2; β – угол наклона траектории колебаний относительно плоскости (угол вибраций); α – угол наклона плоскости к горизонту.

Для реализации одноударных *p*-кратных (*p* = 1, 2, 3) режимов с пребыванием частицы на поверхности в каждом периоде переключений параметр перегрузки должен быть соответственно в пределах:

$$1<\xi<3{,}30; \quad 4{,}60<\xi<6{,}36; \quad 7{,}79<\xi<9{,}48.$$

В процессе исследований определялся съем металла и изменение шероховатости поверхности образцов [2, 3].

Анализ приведенных графических зависимостей (рис.3) показал, что уменьшение жесткости пружин в два раза обеспечило:

– практически постоянную эффективную амплитуду колебаний точек на максимально возможной длине притира при данном конструктивном исполнении;

– увеличение частоты вращения роликов на притире почти в 1,5 раза;

– равномерное и менее выраженное затухание вращения по мере удаления ролика от вибратора;

– увеличение протяженности рабочей зоны притира от 500 до 900 мм.

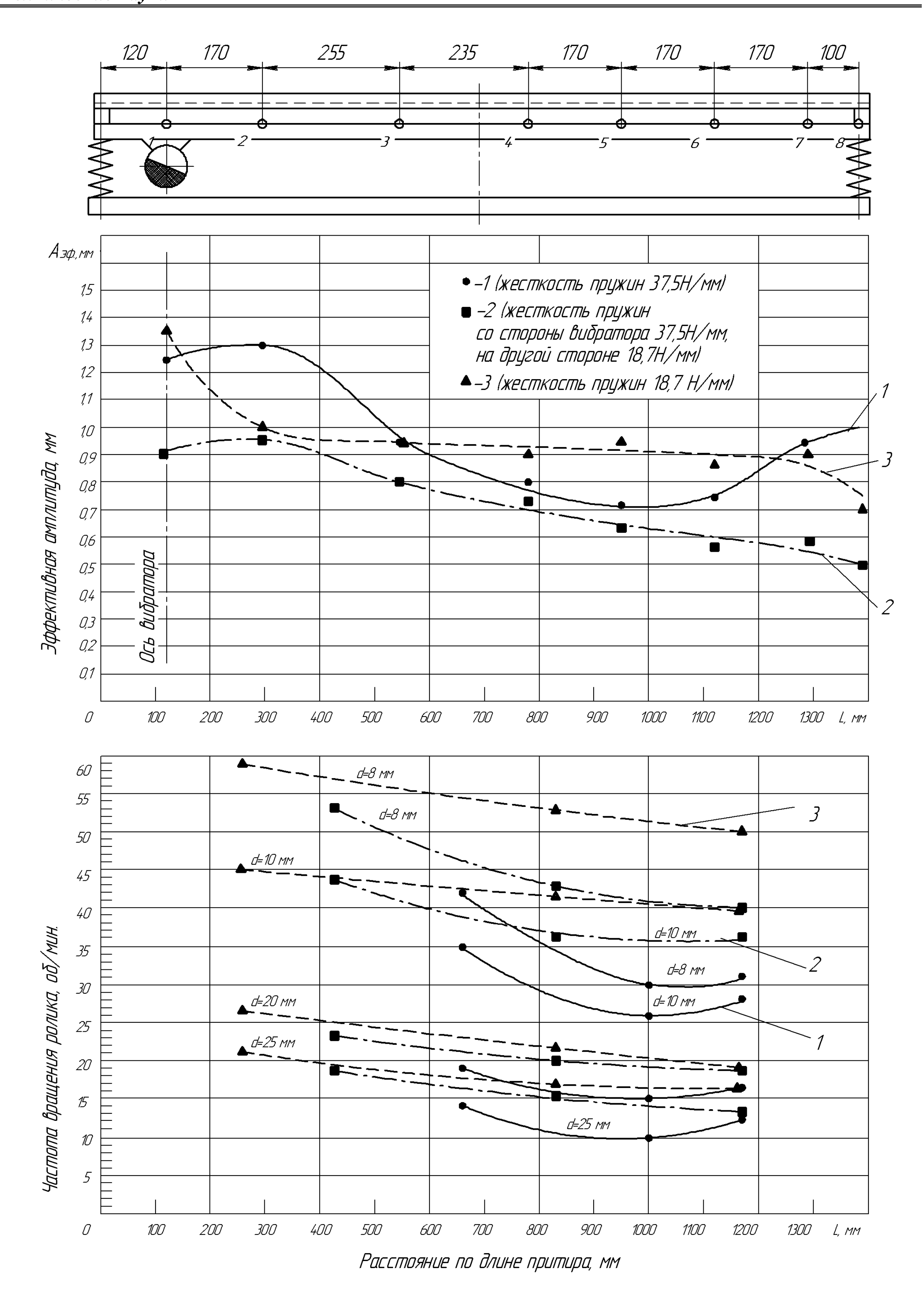


Рис.3. Изменение амплитуды колебаний точек притира
и частоты вращения роликов по длине притира

Результаты экспериментальных исследований показали, что время нахождения деталей на абразивной поверхности не являлось определяющим фактором интенсивности обработки. Интенсивность обработки зависит от параметров колебания притира, определяющих характер перемещения детали (рис.4).

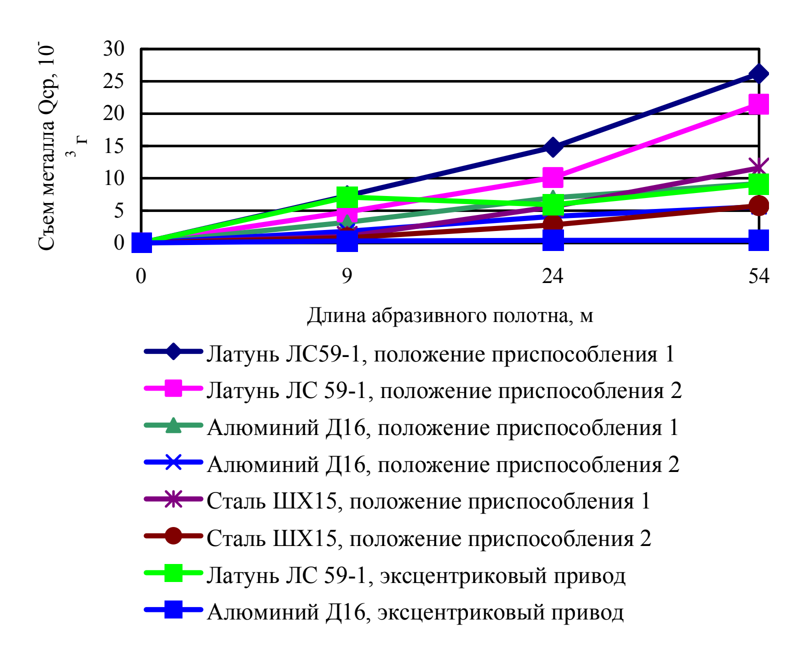


Рис.4. Зависимость съема металла от длины абразивного полотна

Выводы. По результатам исследований сделано заключение о возможности вибрационной притирки цилиндрических деталей путем обкатывания по плоской колеблющейся поверхности, покрытой абразивным материалом, с ограничением боковых перемещений. Установлено, что точность размеров и формы цилиндрической детали определяются размерами приспособления и параметрами колебания притира, обеспечивающими перемещение детали в режиме подбрасывания, который характеризуется как одноударный *p*-кратный режим с одним этапом пребывания частицы на поверхности в каждом периоде колебаний. Шероховатость обработанной поверхности определяется характеристикой абразивного покрытия.

Библиографический список

1. Вибрации в технике: справочник: в 6 т. Т. 4. Вибрационные процессы и машины. – М.: Машиностроение, 1981 – 509 с.

2. Матегорин Н.В. Обоснование возможности доводки (притирки) цилиндрических деталей путем обкатывания по колеблющейся плоской поверхности / Н.В. Матегорин, Ф.А. Пастухов // Перспектива. – 2007: материалы междунар. конгр. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2007.

3. Бабичев А.П. Динамика прямоточной технологической системы вибродоводки (вибропритирки) цилиндрических деталей / А.П. Бабичев, Н.В. Матегорин, Д.В. Мамонов, А.А. Плотников: тр. VIII междунар. научн.-техн. конф. по динамике технологических систем: в 3 т. Т.III. – Ростов н/Д, 2007.

4. Бабичев А.П. Вибродоводка цилиндрических деталей / А.П. Бабичев, Н.В. Матегорин, Д.В. Гетманский, П.Д. Мотренко, В.В. Нелидин // СТИН. – 2008. – № 10.

5. Пат. Устройство для вибрационной абразивной обработки цилиндрических деталей / Н.В. Матегорин, А.П. Бабичев, П.Д. Мотреко, Г.В. Чумаченко.

References

1. Vibracii v tehnike: spravochnik: v 6 t. T. 4. Vibracionnye processy i mashiny. – M.: Mashinostroenie, 1981 – 509 s. – in Russian.

2. Mategorin N.V. Obosnovanie vozmojnosti dovodki (pritirki) cilindricheskih detalei putem obkatyvaniya po koleblyuscheisya ploskoi poverhnosti / N.V. Mategorin, F.A. Pastuhov // Perspektiva. – 2007: materialy mejdunar. kongr. studentov, aspirantov i molodyh uchenyh. – Nal'chik: Kab.-Balk. un-t, 2007. – in Russian.

3. Babichev A.P. Dinamika pryamotochnoi tehnologicheskoi sistemy vibrodovodki (vibropritirki) cilindricheskih detalei / A.P. Babichev, N.V. Mategorin, D.V. Mamonov, A.A. Plotnikov: tr. VIII mejdunar. nauchn.-tehn. konf. po dinamike tehnologicheskih sistem: v 3 t. T.III. – Rostov n/D, 2007. – in Russian.

4. Babichev A.P. Vibrodovodka cilindricheskih detalei / A.P. Babichev, N.V. Mategorin, D.V. Getmanskii, P.D. Motrenko, V.V. Nelidin // STIN. – 2008. – № 10. – in Russian.

5. Pat. Ustroistvo dlya vibracionnoi abrazivnoi obrabotki cilindricheskih detalei / N.V. Mategorin, A.P. Babichev, P.D. Motreko, G.V. Chumachenko. – in Russian.

Материал поступил в редакцию 27.05.10.

N.V. MATEGORIN, A.P. BABICHEV, G.V. CHUMACHENKO

EXPERIMENTAL PROCESS RESEARCH OF CYLINDRICAL DETAILS VIBROFINISHING (ABRADING) BY TRANSPORTATION ON A FLAT FLUCTUATING SURFACE

The results of development and experimental tests of vibrofinishing (abrading) cylindrical details by riding on a flat fluctuating surface are presented. The given method is non conventional and includes both methods of operational development and vibrotransportation.

Key words: abrasive processing, vibrofinishing, abrading, fluctuating flat surface, cylindrical detail, roller, abrasive surface, operational development.

МАТЕГОРИН Николай Владимирович (р. 1984), аспирант кафедры «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета. Окончил Донской государственный технический университет (2007).
Область научных интересов: применение колебаний в технологических целях.
Автор 11 научных работ.

nikihmb@mail.ru

БАБИЧЕВ Анатолий Прокофьевич (р. 1928), профессор (1975) кафедры «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета, директор НИИ «Вибротехнология», доктор технических наук (1975), заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации. Окончил Московский политехнический институт (1954).
Область научных интересов: применение колебаний в технологических целях.
Автор более 300 научных трудов, 20 научно-методических работ, 10 монографий.
Имеет более 100 авторских свидетельств и патентов.

vibrotech@mail.ru

ЧУМАЧЕНКО Галина Викторовна, доцент (2006) кафедры литья и художественной обработки материалов Донского государственного технического университета, кандидат технических наук (2004). Окончила Ростовский институт сельскохозяйственного машиностроения (1983).
Область научных интересов: металлофизические процессы при формировании литых и паяных конструкций.
Автор 46 публикаций.

svarka@dstu.edu.ru

Nikolay V. MATEGORIN (1984), Postgraduate student of the Engineering Technology Department, Don State Technical University. He graduated from Don State Technical University (2007).
Research interests: application of oscillates in technologycal purposes.
Author of 11 scientific publications.

nikihmb@mail.ru

Anatoly P. BABICHEV (1928), Professor (1975) of the Engineering Technology Department, DSTU, Director of the Research Institute «Vibrotechnology». Ph.D. in Science (1975), Professor (1975), Honoured worker of science and technology of the Russian Federation. He graduated from Moscow Polytechnic Institute (1954).
Research interests: application of oscillates in technologycal purposes.
Author of more than 300 scientific publications, 20 manuals, 10 monographs.

vibrotech@mail.ru

Galina V. CHUMACHENKO, Associate Professor of the Cast and Fancy Metal Working Department (1996), Don State Technical University (2006). Candidate of Science in Engineering (2004). She graduated from Rostov Institute of Agricultural Engineering (1983).
Research interests: metallophysical processes of the welding and soldering joins.
Author of 46 scientific publications.

svarka@dstu.edu.ru

УДК 631.363:636

Д.А. ЯКОВЛЕВ

РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ШНЕКОВОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ ОТЖИМА СОКА ИЗ ЗЕЛЕНЫХ РАСТЕНИЙ

Рассмотрен процесс отжима сока на шнековом прессе, проведен анализ недостатков конструкции и выбрано направление ее рационализации. Рабочий орган прошел испытания. Получены результаты, подтверждающие эффективность разработанной конструкции.

Ключевые слова: *шнек, шнековый пресс, зеленая масса, отжим сока, влажное фракционирование, дополнительный дренирующий контур.*

Введение. Снижение стоимости комбикормов за счет замены дорогостоящих белковых ингредиентов (мясокостная и рыбная мука, соевый шрот) на более дешевые (белковые концентраты, полученные на основе зеленых растений) является перспективным направлением развития комбикормовой промышленности. Процесс получения белкового концентрата включает такие операции, как измельчение сырья, механическое разделение его на жидкую (сок) и волокнистую (жом) фракции, коагуляция сока и последующая сушка коагулята. Ключевым этапом в этой цепи является механическое разделение (отжим) растительной массы, от которого зависит выход конечного продукта и затраты энергии на сушку жома. Таким образом, целью данной работы является усовершенствование шнека для повышения эффективности отжима сока.

Испытания экспериментального шнека. Были проведены исследования трех основных конструкций шнекового рабочего органа: цилиндрического с уменьшающимся шагом витков, конического с постоянным шагом витков и конического с уменьшающимся шагом витков [1]. В результате проведенных теоретических исследований была установлена зависимость между скоростями фильтрации сока для каждой конструкции:

$$v_{\text{ц.ум}} > v_{\text{к.ум}} > v_{\text{к.пост}},$$

где $v_{\text{ц.ум}}, v_{\text{к.ум}}, v_{\text{к.пост}}$ – скорость фильтрации сока в цилиндрическом шнеке с уменьшающимся шагом витков, в коническом с уменьшающимся шагом витков и в коническом шнеке с постоянным шагом витков, соответственно.

Экспериментальные исследования также показали, что наилучший выход сока обеспечивает конструкция цилиндрического шнека с уменьшающимся шагом витков.

Таким образом, исследования по рационализации в дальнейшем проводились на цилиндрическом шнеке с уменьшающимся шагом витков.

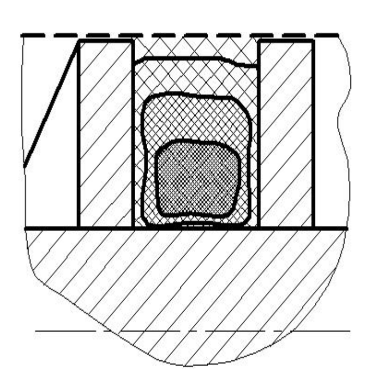


Рис.1. Распределение влажности материала в межвитковом пространстве шнека

Анализ работы данной конструкции выявил следующий недостаток, оказывающий существенное влияние на эффективность отжима сока: в процессе обезвоживания слои материала, контактирующие с фильтрующей поверхностью (в шнековых прессах – это зеерный цилиндр), после отдачи сока уплотняются, тем самым препятствуя дальнейшему проходу сока из более глубоких слоев (рис.1). В результате такого процесса сок, находящийся в слоях, контактирующих с витками шнека и валом, может быть извлечен, пройдя путь через уплотненные слои. Однако закупоренные поры сжатого скелета не позволяют отвести сок.

Для решения данной проблемы было предложено создать дополнительный дренирующий контур в витках шнека, позволяющий отводить сок из участков контакта материала с витками шнека. Результатом такой модернизации стал цилиндрический шнек с дополнительным дренирующим контуром (рис.2) [2].

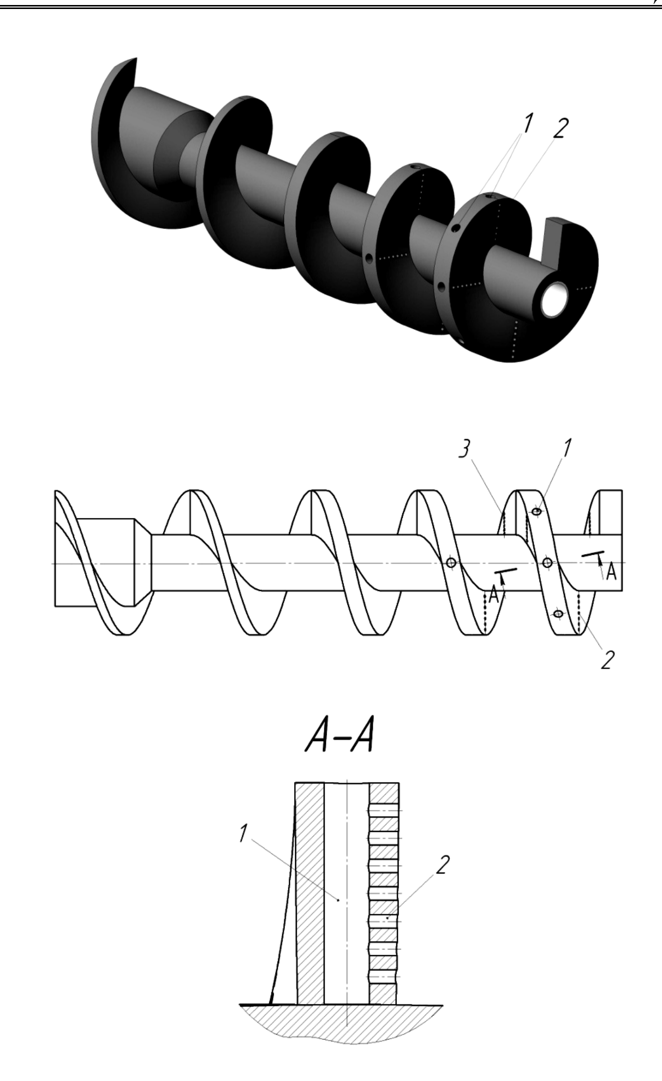
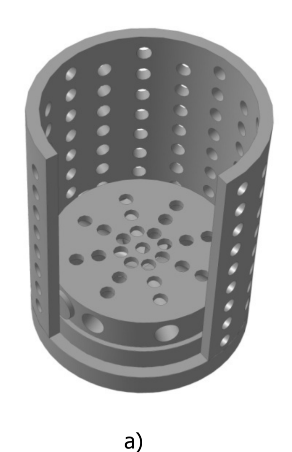
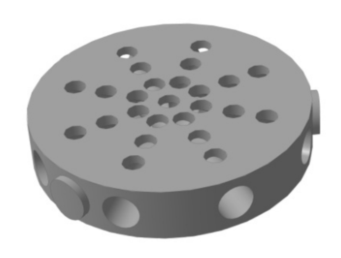


Рис.2. Конструкция шнекового рабочего органа
с дополнительным дренирующим контуром: 1 – канал; 2, 3 – отверстия

Предложенная конструкция шнека состоит из витков, сечением которых является сплошной прямоугольник. Отвод сока из материала осуществляется через отверстия *2* и *3*, сгруппированные в ряды. Ряды соединены с каналом *1*, который направляет сок в пространство между торцом витка и зеерной камерой. Зазор между витком и зеерной камерой в таком прессе не должен превышать диаметра отверстий зеера. Стороны витка, на котором расположены отверстия, чередуется.

Для проверки работы данной конструкции была создана статическая модель, отображающая ее основные свойства, которая представляла собой компрессионную камеру с перфорированным цилиндром и сплошным дном (рис.3,а). Усилия сжатия материала в такой камере направлены параллельно фильтрующей перегородке подобно процессу, протекающему в витках цилиндрического шнека. В качестве дополнительного дренирующего контура была использована плашка (рис.3,б), обладающая свойствами витков шнека с отверстиями. На поверхности плашки сделаны отверстия, которые соединены с каналом. Канал выходит в пространство между торцом плашки и перфорированным цилиндром. Постоянный зазор между плашкой и цилиндром обеспечивается тремя упорами. Плашки устанавливаются сверху и снизу прессуемой массы.





а) б)

Рис.3. Компрессионная камера:
а – дополнительный дренирующий контур;
б – плашка для дополнительного отвода сока

Испытания проводились в соответствии с разработанной программой и методикой. Матеё- измельчалась на шнеко-ножевом измельчителе ИШН-5 до фракции 1–5 мм. Компрессионная камера устанавливалась на ручной гидравлический пресс, развивающий давление свыше 3 МПа. Время нарастания давления и диаметр отверстий были постоянны и равнялись 90 с и 3 мм, соответственно. Показания давления фиксировались с использованием тензометрического оборудования, при помощи программы L-CARD. Тензоэлемент крепился на цилиндрической поверхности камеры.

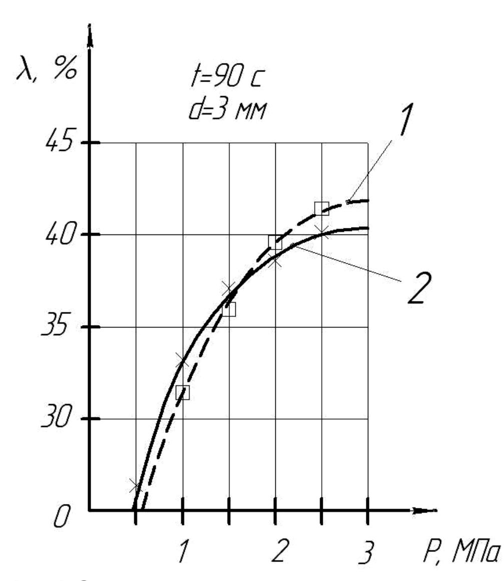


Рис.4. Зависимость выхода сока от давления для конструкций: 1 – с дополнительным дренирующим контуром; 2 – без дополнительного дренирующего контура

Результаты испытания представлены на графике (рис.4).

Испытания показали, что при давлении свыше 1,8 МПа выход сока из усовершенствованной конструкции выше, чем у стандартной. При давлении 3 МПа такая разница достигает 2 % отжатого сока. Также была исследована возможность попадания прессуемой массы в канал через зазор между плашкой и цилиндром. При соблюдении величины зазора в 3 мм такое явление не наблюдалось.

Выводы. Предложена конструкция шнекового пресса, повышающая эффективность процесса отжима сока. Подтверждена ее работоспособность при статических испытаниях. Эффективность конструкции заключается в повышении выхода сока на 2 % по сравнению со стандартной.

Библиографический список

1. Яковлев Д.А. Выбор конструкции шнекового рабочего органа для отжима сока из зеленых растений / Д.А. Яковлев, А.Г. Карапетьян, Н.Н. Шумская, Д.В. Рудой // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: материалы междунар. научн.-практ. конф. / Донск. гос. техн. ун-т. – Ростов н/Д, 2010 – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 101–105.

2. Пат. РФ 93738, МПК B30B9/12, B30B9/14. Шнековый пресс для отжима сока из растительного сырья / А.Г. Карапетьян, Д.А. Яковлев; опубл. 2009, Бюл. № 13.

References

1. Yakovlev D.A. Vybor konstrukcii shnekovogo rabochego organa dlya otjima soka iz zelenyh rastenii / D.A. Yakovlev, A.G. Karapet'yan, N.N. Shumskaya, D.V. Rudoi // Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skohozyaistvennogo mashinostroeniya: materialy mejdunar. nauchn.-prakt. konf. / Donsk. gos. tehn. un-t. – Rostov n/D, 2010 – 1 elektron. opt. disk (CD-ROM). – S. 101–105. – in Russian.
2. Pat. RF 93738, MPK B30B9/12, B30B9/14. Shnekovyi press dlya otjima soka iz rasti-tel'nogo syr'ya / A.G. Karapet'yan, D.A. Yakovlev; opubl. 2009, Byul. № 13. – in Russian.

Материал поступил в редакцию 01.06.10.

D.A. YAKOVLEV

IMPROVED PRODUCTION METHOD OF THE SCREW WORKING ELEMENT FOR SQUEESING JUICE FROM GREEN CROPS

The squeezing process by the screw press is considered, design defects are analyzed, and the direction of the screw efficiency promotion is chosen. The operating device has been tested. Made working element tests for working capacity. The received results confirm the designed construction efficiency.
Key words: screw, screw press, green crops, squeezing, wet fractionation, extra drainage surface.

ЯКОВЛЕВ Дмитрий Анатольевич (р. 1986), аспирант кафедры «Машины и аппараты пищевых производств», ведущий инженер лаборатории «Биохимический и спектральный анализ пищевых продуктов» Донского государственного технического университета, магистр (2009). Окончил Донской государственный технический университет (2009).
Область научных интересов: процессы измельчения, отжима и гранулирования растительной массы в технологии влажного фракционирования.
Имеет патент на полезную модель.
Автор 7 публикаций.

yakovlev_d_a@mail.ru

Dmitry A. YAKOVLEV (1986), Postgraduate student of the Machines and Apparatuses of Food Manufactures Department, leading engineer of the laboratory of Biochemical and Spectral Analysis of Foodstuff, Don State Technical University. He graduated of a magistracy of the Machines and Apparatuses of Food Industry Department, Don State Technical University (2009).
Research interests: cutting, squeezing and peletting processes of green crops for wet fractionation technology.
Author of 7 scientific publications and 1 patent.

yakovlev_d_a@mail.ru

УДК 621.226-543.2

В.И. АНТОНЕНКО, В.С. СИДОРЕНКО

СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫХ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Приведены обобщенные структурные и принципиальные гидрокинематические расчетные схемы и методика разработки математической модели многодвигательных гидромеханических систем.
Ключевые слова: *гидросистема, синхронизация, конструкция.*

Введение. Современной тенденцией является создание технологических машин, представляющих собой комплексы взаимосвязанных и взаимодействующих механизмов, основу которых составляют многодвигательные гидромеханические системы (МГМС). Особенностью современных МГМС является наличие нескольких одновременно или с определенной последовательностью функционирующих гидродвигателей, работа которых определяется отдельным гидромеханическим исполнительным контуром (ГИК), в состав которого они входят.

Специфика МГМС для мобильных и стационарных технологических машин заключается в технологических и технических требованиях, предъявляемых к ним, с этим связаны различия в конструктивном исполнении ГИК. Однако все МГМС технологических машин в основе своей функционально идентичны и включают три основные подсистемы: энергосиловую установку, ГИК и подсистему управления.

Энергосиловая установка (ЭСУ) обеспечивает преобразование и подачу энергии для каждого из двигателей МГМС в зависимости от алгоритма функционирования. При этом именно ЭСУ, в первую очередь, обеспечивает энергетическую эффективность, а также технологическое качество функционирования машины. В зависимости от задач, решаемых ЭСУ, в ее структуру может входить один общий для всех контуров насос, несколько насосов, каждый из которых обеспечивает отдельный контур, либо компромиссный вариант из приведенных решений, когда отдельные насосы в зависимости от режима могут работать на отдельный или на несколько контуров. Наибольший интерес представляют ЭСУ с переменной структурой, изменение которой обеспечивается подсистемой управления.

ГИК отличаются многообразием конструктивного исполнения, что обусловлено многообразием функций и технических требований, предъявляемых к ним. Наиболее типичными вариантами ГИК для современных технологических машин являются:

– контур гидростатических или гидромеханических силовых передач;

– контур автоматических следящих гидросистем;

– два или более совместно или раздельно функционирующих гидродвигателя, работающих со знакопеременной или постоянной по знаку нагрузкой в независимом или синхронно-синфазном реверсном режиме и представляющих собой единый контур.

В технологических машинах возможны различные комбинации перечисленных типичных контуров. Все варианты контуров присутствуют в мобильных гидрофицированных машинах, транспортных энергетических средствах, зерноуборочных комбайнах, сеялках и культиваторах, погрузочных и коммунальных машинах [1].

Подсистемы управления МГМС в зависимости от типа технологической машины отличаются по степени сложности и способу управления.

В простейших подсистемах управления с дискретными распределителями используются специальные устройства, обеспечивающие внутриконтурные управляющие гидромеханические связи, а между отдельными контурами или отдельными функциональными блоками управление обеспечивается электромеханическими или электромагнитными устройствами. В сложных технологических машинах используются микропроцессорные системы управления на базе пропорциональных и дискретных гидроаппаратов, позволяющие, прежде всего, обеспечить оптимальное управление структурой и параметрами ЭСУ и ГИК.

Постановка задачи. В типичных структурах гидромеханических систем используется так называемое параметрическое управление, позволяющее в зависимости от способа получать достаточную степень точности установившегося режима и необходимое качество переходных процессов. Однако данный вариант ограничен жесткой структурой, характеристиками управляющих устройств и мощностями, получаемыми от энергосиловой установки, и поэтому не позволяет обеспечить необходимый уровень экономичности. Как показали исследования [2], использование гидромеханических однодвигательных систем с изменяемой структурой, когда из нескольких упрощенных структур определенное количество вновь «сшиты» благодаря системе управления, позволяет существенно расширить эффективность МГМС.

Цель исследования – синтез структуры и оптимизация параметров МГМС. Для выбора оптимальной структуры необходимо выделить область, состав и алгоритмы функционирования наиболее типичных МГМС, а также определить наиболее подходящие критерии оптимизации. В качестве критериев оптимизации структуры МГМС целесообразно выбрать экономичность, быстродействие и инвариантность к условиям и алгоритмам функционирования.

Особый интерес представляют МГМС распространенных технологических машин: сельскохозяйственных, дорожно-строительных, погрузочных, коммунальных, станков, сварочного, литейного, кузнечно-прессового оборудования, роботов и манипуляторов.

Алгоритмы функционирования МГМС отличаются значительным разнообразием, но наиболее часто встречающиеся варианты следующие: последовательное функционирование силового, следящего и синхронно-синфазного контура, совместное параллельное функционирование в различных сочетаниях. Для стационарных технологических машин к типичным алгоритмам следует отнести последовательное или параллельное в различных сочетаниях функционирование трех гидромеханических исполнительных контуров, обеспечивающих пространственное позиционирование или слежение.

Для реализации синхронно-синфазного реверсного режима движения исполнительных двигателей, имеющих переменную по величине и знаку нагрузку, целесообразно использовать в структуре ГИК дроссельный делитель-сумматор потока и систему замедления. Дроссельный делитель-сумматор потока обеспечивает параллельное подключение двигателей, при котором создается максимально возможное давление, величина его строго регламентирована параметрами насосной установки. Наиболее эффективным в двухдвигательных контурах является делитель потока непрямого регулирования, представляющий собой трехкомпонентный астатический регулятор [3]. Система замедления необходима для экономичного торможения гидродвигателей при переходе их в насосный режим функционирования при реверсной знакопеременной нагрузке. На рис.1 представлена обобщенная структурная схема МГМС с наиболее сложным ГИК, являющимся контуром реверсного синхронно-синфазного движения. В качестве средств, обеспечивающих работу синхронных механизмов мобильных машин, используются различные по принципу действия системы и устройства.

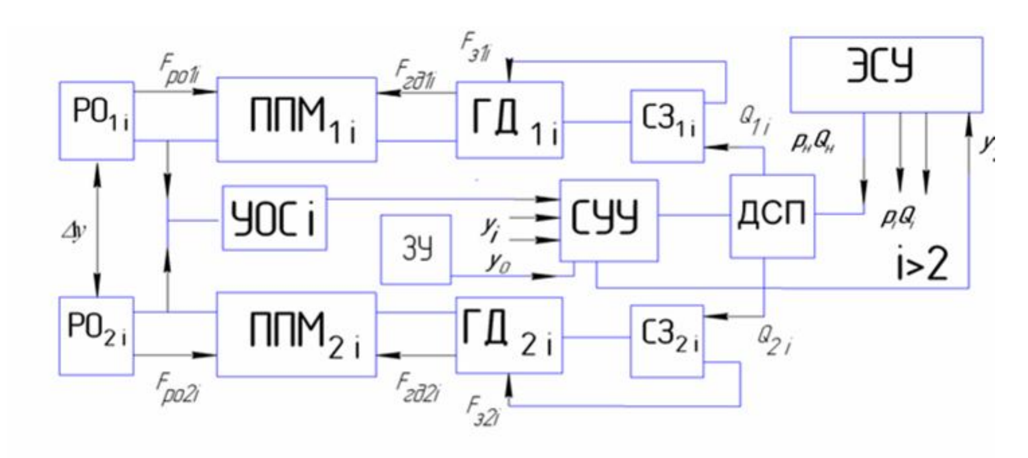


Рис.1. Обобщенная структурная схема МГМС

Как показали исследования, использование в синхронно-синфазных контурах делителя потока непрямого регулирования, представляющего собой астатический регулятор, позволяет обеспечить максимальную точность синхронизации в установившемся и неустановившемся режимах работы при минимальных потерях энергии на управление, т.е. при максимальном КПД [1, 3]. Контуры силовой и следящей передачи, имеющие сравнительно простую структуру, представлены условно как параллельно подключенные потребители, характеризующиеся параметрами P, Q_i.

Гидравлическая подсистема, включающая источник питания ЭСУ, делитель-сумматор потока непрямого регулирования ДСП, системы замедления СЗ$_i$ и гидродвигатели ГД$_i$, формирует параметры потока жидкости P_i, Q_i и преобразует его энергию в движение выходного звена ГД$_i$. При изменении параметров потока используются различные способы управления благодаря обратным связям. Управляющая подсистема реализует алгоритм управления МГМС. Многообразие структурных состояний МГМС определяется приоритетом технических параметров, применяемыми способами управления и техническими средствами их реализации и может быть разделено на три основные группы. Первая группа охватывает приемы управления обобщенными силовыми и скоростными параметрами РО, вторая – силами сопротивления движению $F_{зi}$, третья – комбинированное сочетание первых двух. Последняя является наиболее эффективной, так как использует преимущества первых двух.

По обобщенной структурной схеме была составлена принципиальная гидрокинематическая расчетная схема (рис.2).

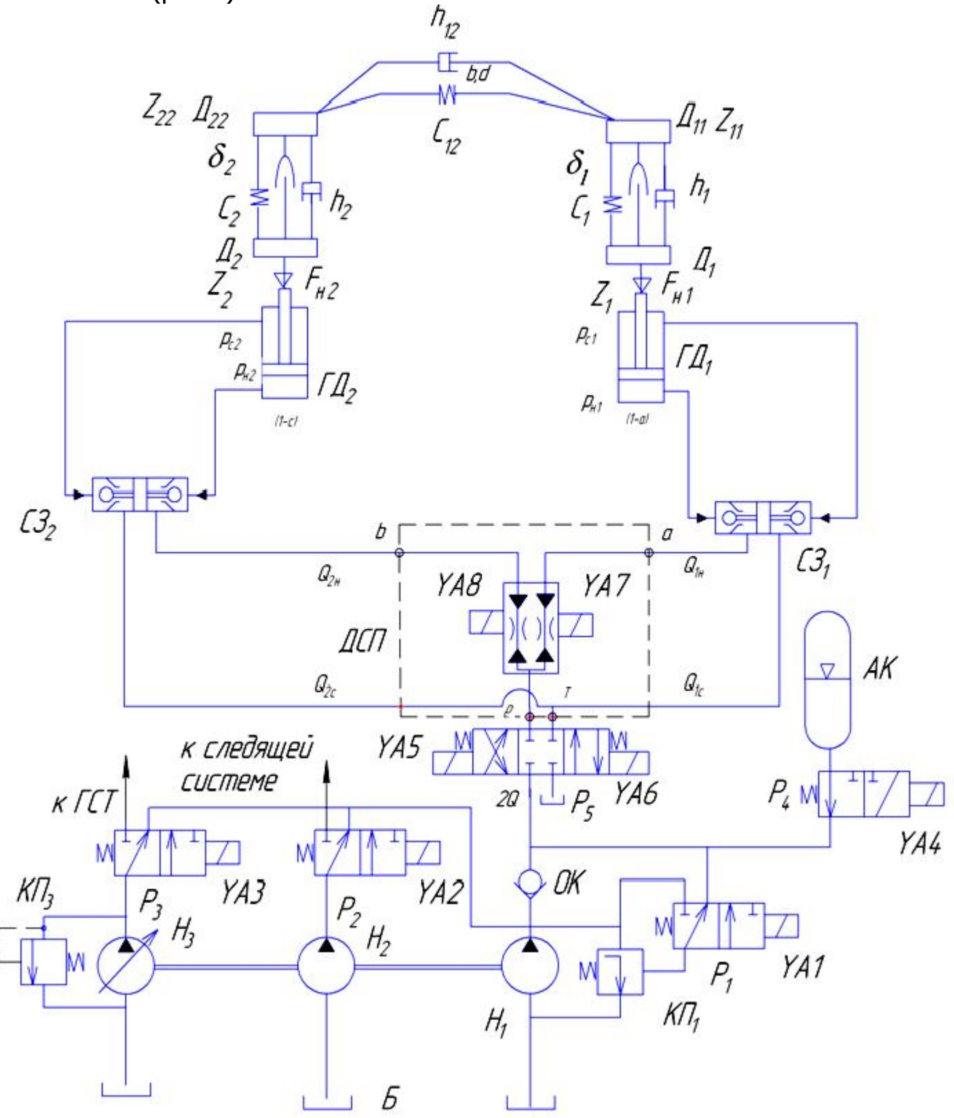


Рис.2. Принципиальная гидрокинематическая расчетная схема МГМС

Механическая подсистема в данном контуре представляет собой упругую динамическую систему, имеющую два гидродвигателя ГД$_1$, ГД$_2$, каждый из которых приводит в движение двухмассовую систему, приведенную к гидродвигателю D_1, D_2 и к рабочему органу механизма и D_{11}, D_{22}. В процессе функционирования гидродвигатели преодолевают внешнюю технологическую нагрузку $F_{нi}$. Двухмассовый механизм ГИК для каждого гидродвигателя отдельно и для единой связанной конструкции характеризуется демпфированием, жесткостью и зазором соответствующего участка h_{ij}, c_{ij}, δ_I внутри механизма и между механизмами, фазовыми координатами выходных звеньев гидродвигателей и рабочих органов механизмов Z_i, Z_{ij}.

Гидравлическая подсистема включает энергосиловую установку Н$_1$–Н$_3$, ГА, КП$_1$–КП$_3$, обеспечивающую подачу жидкости к гидродвигателям ГСТ, следящую систему и синхронно-синфазный контур ГД$_1$, ГД$_2$, системы замедления, СЗ$_1$, СЗ$_2$ и делитель-сумматор потока непрямого регулирования с дискретным электромагнитным управлением ДСП. Компоновка делителя-сумматора потока, приведенная на схеме, является частным случаем компоновки, зависящим от типа механизма. Выбор конкретной схемы компоновки делителя потока непрямого регулирования, обеспечивающего функционирование определенного типа синхронных механизмов машин, определяется особенностями работы этих механизмов синхронно-синфазного позиционирования, обеспечивающих согласованную работу для одного из направлений движжения, синхронизацию прямого и обратного движений; механизмов согласования скоростей движения активных рабочих органов одностороннего вращательного движения [1].

Управляющая подсистема на базе программируемого контроллера, позволяющая изменять структуру МГМС, алгоритм и параметры функционирования, включает в себя электрогидравлические устройства, управляемые электромагнитами YA_1 – YA_8 , а также ряд гидравлических устройств СЗ$_1$,СЗ$_2$, ДСП с обратными связями по нагрузке, скорости и положению, которые обеспечивают автоматическое дроссельное регулирование и релейное управление внутри синхронно-синфазного ГИК, работающего в реверсном режиме со знакопеременной нагрузкой.

Рассматриваемые МГМС являются динамическими системами с интегрированными, переменными гидромеханическими, силовыми и энергетическими связями. Используя наиболее распространенные принципы для обобщенной математической модели МГМС, представляющей собой систему дифференциальных нелинейных уравнений, описывающих функционирование МГМС для наиболее сложного ГИК синхронно-синфазного движения в реверсном режиме со знакопеременной нагрузкой, принимаем следующие допущения:

– податливость гидравлической подсистемы ниже податливости механической подсистемы;

– функционирование МГМС рассматривается в окрестности точки нагрузочной характеристики ЭСУ $2Q$ = const; p = const (подтверждается для исследуемой области предварительными испытаниями ЭСУ);

– рабочая жидкость сжимаемая, капельная, в каналах присутствует нерастворенный воздух. Состояние среды описывается зависимостями, справедливыми для смесей с осредненными свойствами;

– утечки в подвижных соединениях малы, они зависят, главным образом, от конструктивного исполнения и могут быть определены [2] коэффициентом утечки $К_у$;

– скоростные потери давления (напора) в управляющих гидролиниях, соединяющих усилительный и регулирующий элементы делителя потока непрямого регулирования, незначительны, и ими можно пренебречь. Достаточность такого допущения подтверждается предварительными экспериментальными исследованиями. Потери давления в гидролиниях составляют до 0,05 МПа.

С целью упрощения анализа основных видов ГИК рассмотрим работу наиболее сложного, характеризующегося наличием двух дополнительных гидролиний, отводящих дренажные потери от гидродвигателей, и установкой дросселей чувствительного элемента в сливных гидролиниях.

Уравнение баланса энергии параллельных ветвей ГИК при установившемся режиме работы с учетом уравнения баланса делителя потока [3] имеет вид:

$$\Delta p = \Delta p_ч + \Delta p_{рэ} + \Delta p_м; \quad (1)$$

$$\Delta p = \Delta p_{вн1} - \Delta p_{вн2}, \quad (2)$$

где Δp – разность внешних перепадов давлений по нагрузке; $\Delta p_ч$ – разность перепадов давлений в ветвях на чувствительном элементе; $\Delta p_{рэ}$ – разность перепадов давлений в ветвях на ре-

гулирующем элементе; $\Delta p_м$ – разность перепадов давлений в ветвях на сопротивлениях гидромагистралей системы.

$$\Delta p_ч = 4Q^2 K_ч \varphi, \quad (3)$$

где $K_ч$ – коэффициент сопротивления дросселей чувствительного элемента; Q – расход в ветви чувствительного элемента; φ – ошибка синхронизации.

Разность перепадов давлений в ветвях на регулирующем элементе $\Delta p_{рэ}$ определим, описывая потери давления на каждой из щелей:

$$\Delta p_{рэ} = \gamma\ Q_1^2/2g\mu^2_р\ b_р^2(h_0 - y)^2+\delta_р^2) - \gamma\ Q_2^2/2g\mu^2_р\ b_р^2(h_0+y)^2+\delta_р^2, \quad (4)$$

где Q_1 – расход в левой (менее нагруженной) ветви через регулятор; Q_2 – расход в правой (более нагруженной) ветви через регулятор:

$$Q_1 = Q + \Delta Q + q_1, \quad (5)$$

$$Q_2 = Q - \Delta Q + q_2, \quad (6)$$

$\mu_р$ – коэффициент расхода щели регулирующего элемента; $b_р$ – периметр окна регулирующего элемента; γ – удельный вес жидкости; h_0 – смещение рабочих кромок подвижного звена регулирующего элемента при отсутствии разности перепада по давлению между ветвями; y – смещение подвижного звена регулирующего элемента, положительное смещение соответствует увеличению сопротивления в менее загруженной ветви; $\delta_р$ – зазор в золотниковой паре.

Введем понятие коэффициента сопротивления регулирующего элемента:

$$K_{рэ} = \gamma/2g\mu^2_р\ b_р^2\ ), \quad (7)$$

и окончательно уравнение (4) примет вид:

$$\Delta\ p_{рэ} = K_{рэ}\ (2q_1Q+2\varphi q_1Q+q_1^2+(1+\varphi)^2Q^2/((h_0-y)^2+\delta_р^2))-$$
$$-2q_2Q-2\varphi q_2Q+q_1^2+(1-\varphi)^2Q^2/((h_0+y)^2+\delta_р^2))). \quad (8)$$

Разность перепадов давлений в ветвях на сопротивлениях гидромагистралей системы, определяемых по второй водопроводной формуле (11), (16), описывается выражением

$$\Delta p_м = K_м\ (Q_1^{\,2} - Q_2^{\,2}), \quad (9)$$

где $K_м$ – коэффициент сопротивления гидромагистралей системы, $K_м = 8\ \gamma\lambda_{тр}\ l_{экв}/g\pi^2 d_{тр}^5)$; $\lambda_{тр}$ – коэффициент потерь на трение в трубах; $l_{экв}$ – эквивалентная длина труб гидромагистралей с учетом местных сопротивлений; $d_{тр}$ – диаметр проходного сечения гидромагистралей.

После преобразований с учетом (5), (6) выражение (8) будет иметь вид:

$$\Delta p_м = K_м\ (4\varphi\ Q^{\,2}+(q_1^2+q_2^2)+2\varphi Q(q_1+q_2)+2Q(q_1-q_2)). \quad (10)$$

Таким образом, уравнение баланса энергий ветвей примет вид:

$$\Delta p = K_{рэ}(2q_1Q+2\varphi q_1Q+q_1^2+(1+\varphi)^2\ Q^2/((h_0 - y)^2+\delta_р^2)) - 2q_2Q - 2\varphi q_2Q+q_1^2+(1-\varphi)^2Q^2/((h_0+y)^2+\delta_р^2)))+$$
$$+\ 4Q^2\ K_ч\ \varphi K_м(4\varphi\ Q^2+(q_1^2+q_2^2)+2\varphi Q(q_1+q_2)+2Q(q_1 - q_2)). \quad (11)$$

Уравнение энергетического баланса ветвей системы (11) с учетом того, что состояние покоя делителя потока обусловлено параметрами $y' = 0$, $y'' = 0$, $\varphi = 0$ (астатизм регулятора), представляем в виде:

$$\Delta p = K_{рэ}(2q_1Q + q_1^2 + Q^2/((h_0 - y)^2+\delta_р^2)) - (q_2 + Q)^2/((h_0 + y)^2+\delta_р^2))) + K_м(q_1^2 - q_2^2 + 2Q(q_1 - q_2)). \quad (12)$$

Из уравнения (12) получаем статические нагрузочные и скоростные характеристики, определяющие конечное позиционирование подвижного звена регулирующего элемента при различных воздействиях по расходу и нагрузке.

Уравнение баланса энергии ветвей синхронизируемой системы для механизмов синхронно-синфазного позиционирования, обеспечивающих согласованную работу для одного из направлений движения, будет иметь вид:

$$\Delta p = K_{рэ}\ ((1+\varphi)^2Q^2/((h_0 - y)^2 + \delta_р^2)) - (1-\varphi)^2Q^2/((h_0+y)^2+\delta_р^2)))+4(K_м+K_ч)Q^{\,2}\varphi. \quad (13)$$

Для прямого и обратного движений:

$$\Delta p = K_{рэ}\,K^2\ ((1+\varphi)^2Q^{\,2}/((h_0 - y)^2+\delta_р^2)) - (1-\varphi)^2Q^{\,2}/((h_0+y)^2+\delta_р^2))) + 4(K_м\,K^2+K_ч)Q^{\,2}\ \varphi. \quad (14)$$

Наиболее характерно для работы синхронных механизмов мобильных машин динамическое нагружение, соответствующее неустановившемуся режиму системы синхронно-синфазного функционирования, которое необходимо проанализировать. При этом в гидроприводе механизмов возникают гидромеханические нестационарные процессы. В гидроприводе с дроссельным делителем потока непрямого регулирования, функционирующим как астатическая система синхрониза-

ции [3], от характера протекающих процессов будут зависеть оценочные параметры работы механизма.

Неустановившийся режим работы такой системы может быть описан уравнением движения переходных режимов ГИК [3]. Уравнения (15), (16) получаем на основании принципа Даламбера по имеющимся аналитическим зависимостям установившегося режима работы элементов ГИК, уравнение (17) – уравнения (11) при условии совместного синхронно-синфазного функционирования гидродвигателей, при котором $p_1 = p_2$.

$$F_р - F_{ду} - F_{пр} - F_{тр\,у} - F_{иу} = 0; \quad (15)$$

$$F_у - F_{др} - F_{тр\,р} - F_{ир} = 0, \quad (16)$$

где $F_{иу}$ – сила инерции усилительного элемента; $F_р$ – сила давления чувствительного элемента; $F_{ду}$ – гидродинамическая сила усилительного элемента; $F_{пр}$ – сила противодействия центрирующих пружин; $F_{тр.у}$ – сила трения усилительного элемента; $F_{и.р}$ – сила инерции подвижного звена регулирующего элемента; $F_у$ – сила управления, действующая на регулирующем элементе; $F_{тр.р}$ – сила трения регулирующего элемента; $F_{др}$ – осевая составляющая гидродинамических сил регулирующего элемента;

$$\Delta p_ч + \Delta p_{р.э} + \Delta p_м + \Delta p_и = \Delta p, \quad (17)$$

где $\Delta p = \frac{F_{Н2}}{К_{гд2}} - \frac{F_{Н1}}{К_{гд1}}$ – разность внешних перепадов давления по нагрузке; $\Delta p_ч = К_ч(Q_{1н}^2 - Q_{2н}^2)$ – разность перепадов давления в ветвях на чувствительном элементе, $К_ч = \gamma/(2g\mu^2{}_ч\omega^2)$, $\omega = \pi d^2/4$, $К_р = К_ч\,\pi\, d_y^2/4$; $\Delta p_{р.э}$ – разность перепадов давления в ветвях на регулирующем элементе; $\Delta p_м$ - разность перепадов давления в ветвях на сопротивлениях гидромагистралей системы; $\Delta р_м$ – разность перепадов давления в магистралях:

$$\Delta p_м = К_м(4\varphi Q^2 + (q_1^2 + q_2^2) + 2\varphi Q(q_1 + q_2) + 2Q(q_1 - q_2)).$$

Сила инерции в золотниковой паре усилительного элемента:

$$F_{иу} = m_1\frac{d^2x}{dt^2},$$

где m_1 – масса подвижного звена усилительного элемента; x – смещение подвижного звена усилительного элемента.

Сила вязкого трения усилительного элемента, определяется из выражения $F_{тр.\,у} = V_1\frac{dx}{dt}$,

где V_1 – коэффициент демпфирующей силы усилительного элемента,

$$V_1 = \sum_{i-1}^{n} f_i\,\gamma\nu/(g\delta_i) + 16\gamma\pi\nu l_д\, d_у^4/(gd_д^4).$$

Здесь f_i – площадь соответствующего элемента трения; δ_i – радиальный зазор между элементами трения; ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости; $d_у$ – диаметр усилительного элемента; $l_д$ – длина линейного дросселя демпфирования; $d_д$ – диаметр канала линейного дросселя демпфирования.

Силу вязкого трения, возникающую в золотниковой паре регулирующего элемента, определяем из выражения:

$$F_{тр} = V_2\frac{dy}{dt}, \text{ где } V_2 = \sum_{i=1}^{n} f_i\,\gamma\nu/(g\delta_i).$$

Сила инерции регулирующего элемента:

$$F_{ир} = m_2\frac{d^2y}{dt^2},$$

где m_2 – масса подвижного звена регулирующего элемента; y – смещение подвижного звена регулирующего элемента;

$$\Delta p_и = M_1 \frac{dQ_1}{dt} - M_2 \frac{dQ_2}{dt},$$

где $\Delta p_и$ – разность перепадов давления в ветвях за счет инерционных масс системы; M_1, M_2 – инерционные массы подвижных частей соответствующих механизмов, приведенные к выходным элементам гидродвигателей:

– для вращательного движения

$$M_i = (J_{qi} + J_{жi} + J_{нi})/K_{гдi}^2;$$

– для возвратно-поступательного движения

$$M_i = m_{ci}/K_{гдi}^2\ .$$

Здесь J_{qi} – момент инерции подвижных частей соответствующих гидродвигателей; $J_{жi}$ – момент инерции жидкости, приведенный к выходному валу; $J_{нi}$ – момент инерции нагрузки, приведенный к выходному валу;

$$J_{жi} = 8\gamma\, K_{гдi}^2\, l\, V_{гм}/(V_{тр} d_{тр}^2),$$

где l – длина гидромагистралей; $V_{гм}$ – объем камер гидромотора; $V_{тр}$ – объем жидкости в гидромагистралях камерного тракта.

В окончательном варианте функционирование ГИК с дроссельным делителем потока непрямого регулирования при динамическом нагружении описывается системой уравнений:

$$m_1 \frac{d^2x}{dt^2} = K_p Q^2 \varphi - K'_{ду} x - Cx - V_1 \frac{dx}{dt}\ ; \qquad (18)$$

$$m_2 \frac{d^2y}{dt^2} = F_{ак} - F_y \left(\frac{dyl}{dtx}\right)^2 - K_к \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 - V \frac{dy}{dt}; \qquad (19)$$

$$\Delta p = K_{рэ}(2q_1Q + 2\varphi q_1 Q + q_1^2 + (1+\varphi)^2 Q^2/((h_0 - y)^2 + \delta_р^2)) - 2q_2 Q - 2\varphi q_2 Q + q_1^2 + (1-\varphi)^2 Q^2/((h_0 + y)^2 + \delta_р^2))) +$$
$$+ 4Q^2 K_ч\, \varphi\, K_м(4\varphi Q^2 + (q_1^2 + q_2^2) + 2\varphi Q(q_1 + q_2) + 2Q(q_1 - q_2) + Q' M_{1\text{-}2} + (Q'\varphi + \varphi' Q)M_{1+2}. \qquad (20)$$

Выводы. Синтезированные структурная и принципиальная схемы и математическая модель дают возможность разработки нежестких субоптимальных структур МГМС.

Библиографический список

1. Антоненко В.И. К вопросу о синхронных механизмах мобильных машин / В.И. Антоненко, В.С. Сидоренко // Вестник ДГТУ. – 2009. – Т. 9. – С 121–129.

2. Сидоренко В.С. Синтез гидромеханических позиционирующих устройств металлообрабатывающего оборудования: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Ростов н/Д, 2001. – 38 с.

3. Антоненко В.И., Непрямое дроссельное регулирование в многодвигательных гидромеханических системах / В.И. Антоненко, В.С. Сидоренко // Вестн. ДГТУ. – 2010. – Т. 10, № 1 (44). – С.70–75.

4. Попов Д.Н. Механика гидро- и пневмоприводов: учеб. для вузов / Д.Н. Попов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 320 с.: ил.

5. Куропаткин П.В. Теория автоматического управления / П.В. Куропаткин. – М.: Высш. шк., 1973. – 528 с.

6. Антоненко В.И. Разработка конструкций и оптимизация процессов в гидроприводах синхронных механизмов сельскохозяйственных машин: автореф. дис. … канд. техн. наук. – Ростов н/Д, 1985. – 25 с.

References

1. Antonenko V.I. K voprosu o sinhronnyh mehanizmah mobil'nyh mashin / V.I. Antonenko, V.S. Sidorenko // Vestnik DGTU. – 2009. – T. 9. – S 121–129. – in Russian.

2. Sidorenko V.S. Sintez gidromehanicheskih pozicioniruyuschih ustroistv metalloobrabatyvayuschego oborudovaniya: avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk. – Rostov n/D, 2001. – 38 s. – in Russian.

3. Antonenko V.I., Nepryamoe drossel'noe regulirovanie v mnogodvigatel'nyh gidromehanicheskih sistemah / V.I. Antonenko, V.S. Sidorenko // Vestn. DGTU. – 2010. – T. 10, № 1(44). – S.70– 75. – in Russian.

4. Popov D.N. Mehanika gidro- i pnevmoprivodov: ucheb. dlya vuzov / D.N. Popov. – M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2001. – 320s.: il. – in Russian.

5. Kuropatkin P.V. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya / P.V. Kuropatkin. – M.: Vyssh. shk., 1973. – 528 s. – in Russian.

6. Antonenko V.I. Razrabotka konstrukcii i optimizaciya processov v gidroprivodah sinhronnyh mehanizmov sel'skohozyaistvennyh mashin: avtoref. dis. … kand. tehn. nauk. – Rostov n/D, 1985. – 25 s. – in Russian.

Материал поступил в редакцию 31.05.10.

V.I. ANTONENKO, V.S. SIDORENKO

STRUCTURE SYNTHESIS AND MATHEMATICAL MODELING OF AUTOMATIC MULTIENGINED HYDROMECHANICAL SYSTEMS

Generalized structural and conceptual hydrokinetic analytical models, and technique for developing a mathematical model of multiengined hydromechanical systems are presented.
Key word: hydrosystem, synchronization, configuration.

АНТОНЕНКО Владимир Ильич (р. 1950), доцент (1986) кафедры «Гидравлика, гидропневмоавтоматика и тепловые процессы» Донского государственного технического университета, кандидат технических наук (1985). 0кончил факультет автоматизации и комплексной механизации машиностроения Ростовского института сельхозмашиностроения (1978).
Область научных интересов: гидропривод и гидроаппараты мобильных и стационарных технологических машин.
Имеет 18 патентов на изобретения.
Автор 78 публикаций.

antonenkovi@ pochta.ru

СИДОРЕНКО Валентин Сергеевич (р. 1942), заведующий кафедрой «Гидравлика, гидропневмоавтоматика и тепловые процессы» Донского государственного технического университета, доктор технических наук (2002), профессор (2003). Окончил факультет технологии машиностроения Ростовского института сельхозмашиностроения (1964).

Область научных интересов: управление движением технических объектов с гидропневмомеханическими системами повышенного быстродействия и точности.
Имеет 17 патентов на изобретения.
Автор 155 публикаций.

vsidorenko@dstuedu.ru

Vladimir I. ANTONENKO (1950), Associate Professor of the Hydraulics, Hydropneumoautomation and Heat Processes Department, Don State Technical University. Candidate of Science in Engineering (1985), Associate Professor (1986). He graduated from the Automation and Integrated Mechanization Faculty, Rostov Institute of Agricultural Engineering (1978).
Research interests: hydraulic circuits, hydraulic valves of mobile and stationary production machines.
Author of 78 scientific publications and 18 patents.

antonenkovi@ pochta.ru

Valentin S. SIDORENKO (1942), Head of the Hydraulics, Hydropneumoautomation and Heat Processes Department, Don State Technical University. Ph. D. in Science (2002), Professor (2003). He graduated from the Engineering Technology Faculty, Rostov Institute of Agricultural Engineering (1964).
Research interests: technical object movement control by means of the mechanical air-oil circuits of high operation speed and precision.
Author of 155 scientific publications and 17 patents.

vsidorenko@dstuedu.ru

УДК 621.865.8-83

Н.Ф. КАРНАУХОВ, Ю.В. ПУДОВА, М.Н. ФИЛИМОНОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ЗВЕНА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МАШИНЫ В РЕЖИМЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ

Моделирование колебаний звена технологической машины (ТМ) с асинхронным электроприводом частотного управления позволяет выявить причины возникновения возмущающих воздействий, определить способы гашения колебаний. Предлагается «ступенчатое» программное регулирование тока подмагничивания статора асинхронного двигателя (АД) при формировании тормозного момента на валу с учетом амплитуды и фазы колебаний, параметры которых определяются виртуальным фазочастотометром.
***Ключевые слова**: звено подвижности ТМ, амплитуда и фаза колебаний, двухтоковое торможение АД, виртуальный измеритель колебаний.*

Введение. В режиме разгона, торможения частотного асинхронного электропривода (ЭП) исполнительного механизма (ИМ) технологической машины (ТМ) в подвижных звеньях могут возникать вынужденные колебательные процессы, отрицательно влияющие на точностные показатели технологического оборудования (ТО), долговечность и эксплуатационные возможности средств автоматизации [1, 2]. Проанализированы причины возникновения колебательных процессов и определены их виды в ТМ [3, 4]. В зависимости от характера изучаемого явления и цели исследования колебаний в ТМ число степеней свободы движения звена ИМ определяют по расчетной схеме, приближенно отражающей конструктивные особенности исследуемого узла [4, 5]. Поставлена задача гашения колебаний звена подвижности ИМ с одной степенью свободы, в частности, захватного устройства (ЗУ) промышленного робота (ПР) с частотно-управляемым электроприводом (ЧУЭП) на базе короткозамкнутого АД.

Постановка задачи. При проектировании новых высокопроизводительных ТМ на базе ЧУЭП, функционирующего по схеме автономный инвертор напряжения (АИН) – асинхронный двигатель (АД), появляется необходимость в предварительной оценке параметров колебательности упругой системы: безударные движения ИМ в начальный период разгона и более сложные процессы торможения, обеспечивающие остановку ИМ в заданном положении с учетом прогнозируемой точности. Колебательность движения ИМ (звена подвижности ТМ) зависит от ряда факторов: массы звена подвижности, скорости перемещения и интенсивности торможения системы [1, 3]. Для оценки параметров колебаний отдельных звеньев ТМ обычно используют специальную измерительную аппаратуру, которую можно заменить виртуальными моделями инструментального оснащения и расширенных возможностей, выполненных в программном пакете Matlab+Simulink [6].

Математическая модель. Для поиска метода гашения колебаний выходного звена подвижности – захватного устройства (ЗУ) с консольным креплением в направляющей цилиндрической системы координат ПР «Электроника НЦТМ-01» была составлена упрощенная расчетная схема (рис.1).

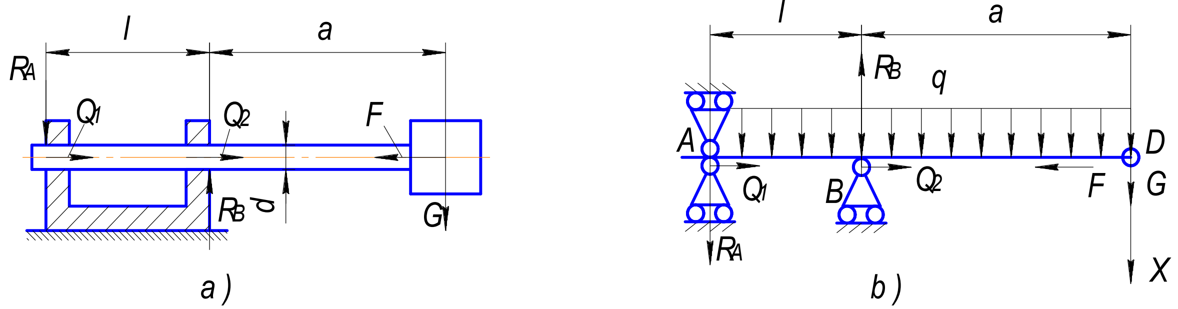


Рис.1. Упрощенная расчетная схема взаимодействующих усилий в направляющих звена подвижности ПР

При анализе расчетной схемы принято равномерное распределение массы руки ПР, а массы ЗУ и транспортируемого груза сосредоточены в одной точке. Рассмотрены основные силовые соотношения в схеме (рис.1) с определением реакций в опорах при нулевых значениях *A* и *B* изгибающих моментов относительно точек *A* и *B* с учетом параметров [1]: *a* – вылет консоли направляющей (ход объекта манипулирования), ℓ – расстояние между опорами; *d* – диаметр направляющей; *f* – коэффициент трения между направляющей и втулкой конструкции. ξ – ускоре-

ние свободного падения, q – распределенная нагрузка звена подвижности; G – вес груза; Q_1, Q_2 – силы трения в опорах A и B соответственно, F – движущая сила.

Значения реакций опор A и B определяются соотношениями [3]

$$R_A = \frac{2G(a-fd)-q(l^{\wedge 2}-a^{\wedge 2})-2qfd(l+a)}{2l}, \tag{1}$$

$$R_B = G(l+a-fd)+q(l+a)(\frac{l+a}{2}-fd). \tag{2}$$

Для поиска деформации руки робота по оси X в точке D (рис.1,б) использовался интеграл Мора [4], что позволило определить перемещение ЗУ под действием приложенных нагрузок

$$x = -Gk_1 - qk_2, \tag{3}$$

где k_1 и k_2 – коэффициенты при сосредоточенной и распределенной нагрузках, определяемые выражениями:

$$k_1 = \frac{a^{\wedge 3}}{6Ej}[2(\frac{l}{a}+1)-\frac{fd}{a}(\frac{l}{a}+3(1-f))], \tag{4}$$

$$k_2 = \frac{a^{\wedge 4}}{24Ej}[2f\frac{d}{a}(\frac{l^{\wedge 2}}{a^{\wedge 2}}-(3+2\frac{l}{a})+6fd(\frac{l}{a}+1))+(3+4\frac{l}{a}-\frac{l^{\wedge 3}}{a^{\wedge 3}})], \tag{5}$$

где E – модуль упругости при прогибе.

Если под сосредоточенной силой G (рис.1) принять алгебраическую сумму силы тяжести и силы инерции, тогда:

$$G = -m\ddot{x} - mg, \tag{6}$$

где m – масса перемещаемого груза.

Для перехода к анализу динамики перемещения центра масс ЗУ ось следует направить в сторону действия силы тяжести (по оси X) и, после некоторых преобразований, можно записать неоднородное дифференциальное уравнение

$$\ddot{x} + k_1^{\wedge 2} X = G, \tag{7}$$

где

$$k_1 = \sqrt{\frac{1}{mk_{11}}} \text{ и } G = g + q\frac{k_{21}}{k_{11}}, \tag{8}$$

где k_{11}, k_{21} – коэффициенты различия направленности силы трения при четных и нечетных колебаниях ЗУ.

В результате математического моделирования [7] были получены графические зависимости колебаний ЗУ в точке позиционирования (рис.2) для различных перемещаемых масс (груза) без изменения условий торможения.

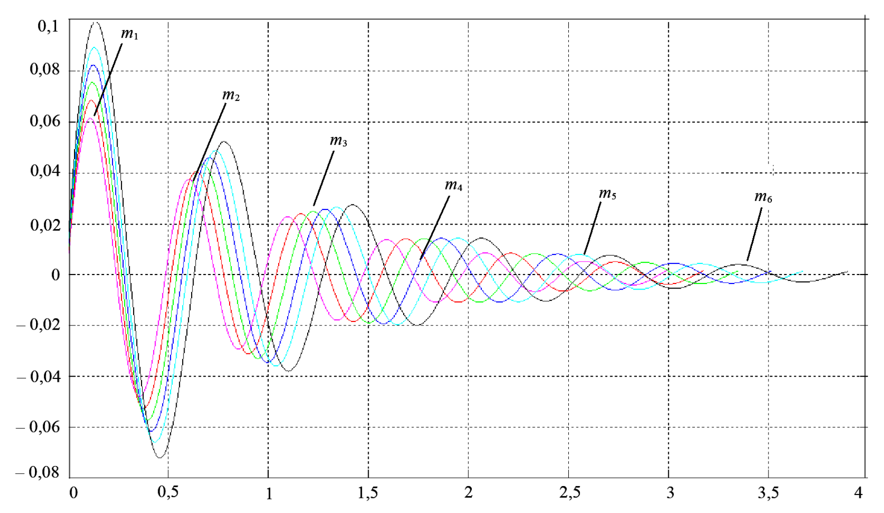


Рис.2. Зависимость колебаний ЗУ манипулятора в точке позиционирования при нагрузке от 1 до 12 кг (m_1=1, m_2=3, m_3=5, m_4=7, m_5=9, m_6=12 кг)

Для измерения амплитуд и фаз вынужденных колебаний при моделировании колебательных процессов использовался виртуальный инструментарий – фазочастотометр (рис.3), позволяющий методом сравнения [6] определять искомые параметры гармонических колебаний.

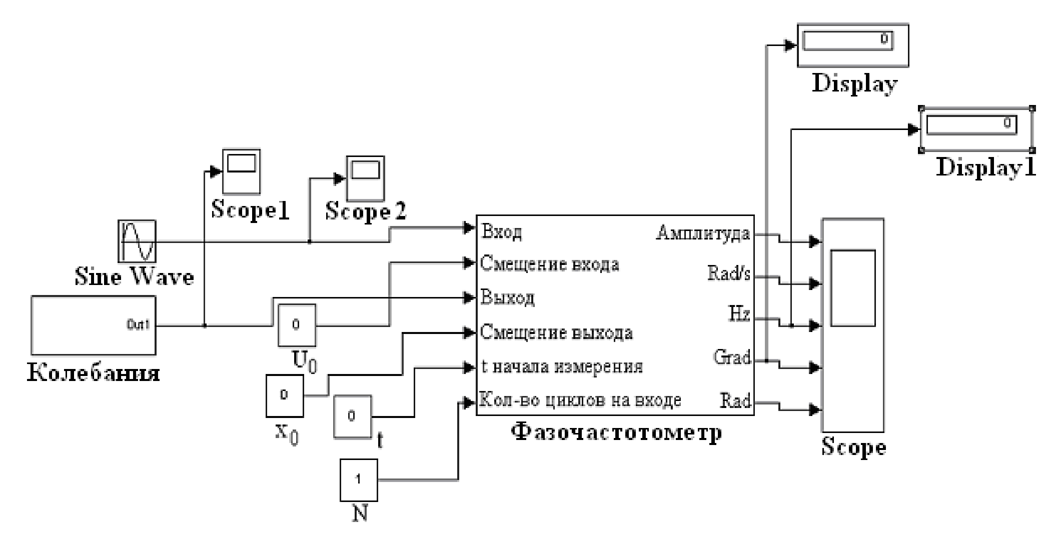


Рис. 3. Схема подключения фазочастотометра

Процесс измерения включает этапы:

– считывание с входа интервала времени, по истечении которого устанавливаются стационарные колебания;

– измерение длительности одного полупериода колебания входного сигнала и смещения выходных колебаний по отношению к входным колебаниям;

– вычисление фазы ($\Phi = 2\pi\,(l/2D)$ с учетом постоянных смещений входных U_0 и выходных X_0 колебаний, поскольку последние могут происходить относительно ненулевого уровня.

Результаты выполненных измерений параметров колебательного процесса позволяют построить взаимные зависимости (рис.4).

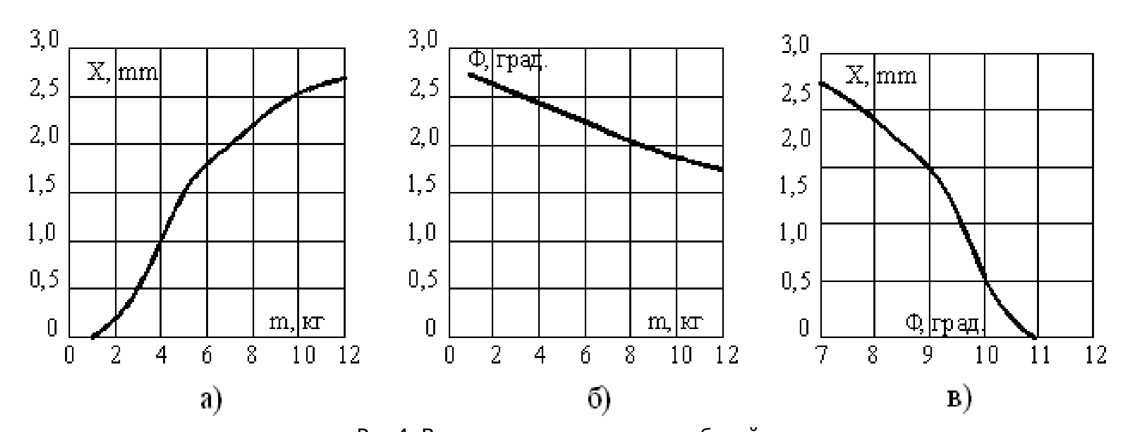


Рис.4. Взаимные зависимости колебаний:
а – амплитуды от массы; б – фазы колебаний от массы; в – амплитуды колебаний от фазы

Полученные зависимости расчетной схемы могут быть использованы в качестве входных переменных для реализации алгоритмов нечеткой логики при управлении частотным электроприводом ИМ ТМ, а также исходными величинами для решения сложной задачи по снижению колебаний ЗУ в процессе работы ПР. Применение ЧУЭП характеризуется возможностью программного управления гашением колебаний ЗУ в процессе регулирования постоянного тока фазы АД в режиме двухтокового динамического торможения [1, 2]. При этом формируются расчетные динамические моменты на валу АД и исключаются возможные удары в механической части ЭМС [1, 3]. Такая система управления АД позволяет (по сигналам датчиков контролируемых величин) в соот-

ветствии с приведенными зависимостями (рис.4) формировать целесообразное торможение звена подвижности в режиме демпфирования колебаний амплитуды ЗУ на определенном уровне (от 0,2 до 0,7 мм), зависимом от чувствительности датчиков и коэффициента усиления сигналов в СУ. В общем случае, процесс торможения АД можно рассматривать как результат взаимодействия эквивалентного двигательного и тормозного моментов на валу, обеспечиваемых равенством намагничивающих сил постоянного тока подмагничивания статора [1, 7] и приведенного значения переменного тока ротора АД. Использование двухтокового способа формирования тормозного момента для гашения колебаний ЗУ при подаче импульсов тока (рис.5) возможно в режиме импульсного регулирования тока подмагничивания, когда интегральная площадь импульса постоянного тока приравнивается к интегральной площади соответствующего периода колебаний звена подвижности, ЗУ. Начало периода формирования импульсов тока подмагничивания статора должно совпадать по времени с периодом вынужденных колебаний звена подвижности, ЗУ, но действовать в противофазе.

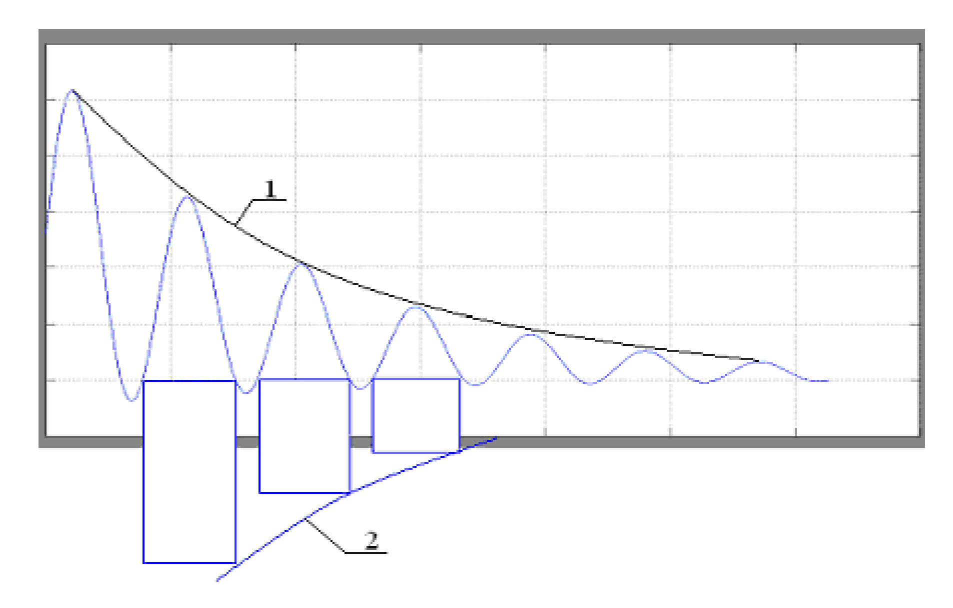


Рис.5. Метод гашения колебаний ЗУ ПР в процессе позиционирования

Такое управление электроприводом возможно при программном управлении и наличии силомоментных датчиков на конструктивных элементах ИМ, датчиков контролируемых параметров информационного канала СУ. При этом решение задачи управления ЭП предполагает разработку соответствующего программного обеспечении (ПО) и предсказуемость изменений контролируемых колебаний ЗУ (кривая *1*, рис.5), а также возможность формирования импульсов тока подмагничивания обмотки статора АД с оценкой интегрального значения площади каждого импульса, ограниченными экспоненциальной кривой *2* затухания колебательного процесса. Для реализации решения необходимо выбрать датчики измеряемых величин по фазочастотным характеристикам и диапазонам контролируемых параметров. При усложнении задачи исследования и необходимости расширения функциональных возможностей датчиков целесообразно применять известные решения виртуальных приборов. Такая необходимость появляется при управлении, например, ЧУЭП ТМ как сложным объектом в условиях неопределенности с использованием алгоритмов нечеткой логики.

Выводы. Моделирование вынужденных колебаний звена подвижности ТМ, обусловленных процессами «разгона-торможения» электропривода, позволяет:

– определить характерные зависимости вынужденных колебаний от внезапного изменения скорости движения, тормозного усилия и инерционных составляющих перемещаемых масс ИМ;

– разработать направления по совершенствованию конструкции звена подвижности и направляющих ТМ, выбрать рациональное сочетание механических характеристик электропривода и ИМ (ЗУ).

Библиографический список

1. Карнаухов Н.Ф. Демпфирование колебаний захватного устройства промышленного робота в режиме двухтокового динамического торможения асинхронного двигателя при частотном управлении / Н.Ф. Карнаухов, М.Н. Филимонов, Ю.В. Пудова // Вестник ДГТУ. – 2009. – Т. 9. – 308 с.

2. Карнаухов Н.Ф. Особенности формирования двухтокового динамического торможения асинхронного двигателя мехатронннной системы при частотном управлении / Н.Ф. Карнаухов, М.Н. Филимонов, Н.В. Деркачев // Мехатроника–2008: материалы IV междунар. науч.-практ. студ. коллоквиума (Новочеркасск, 18–20 июня 2008) / Южно-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск, 2008. – С. 17–20.

3. Робототехнические системы в сборочном производстве / под ред. Е.В. Пашкова. – Киев: Выща шк., 1987. – 272 с.

4. Левитский Н.И. Теория механизмов и машин / Н.И. Левитинский. – М.: Наука. Глав. ред. физ.-мат. литературы, 1979.

5. Карнаухов Н.Ф. Энергетические показатели электропривода при частотном способе управления асинхронным двигателем / Н.Ф. Карнаухов, В.А. Прус, М.Н. Филимонов // Динамика технологических систем: тр. VIII междунар. науч.-техн. конф. / Донск. гос. техн. ун-т. – Ростов н/Д, 2007. – Т. III. – 219 с.

6. Данилов А.И. Построение на элементах Simulink измерителей фазы, частоты и амплитуды / А.И. Данилов // Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB: тр. II науч. конф. – 2004.

7. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р.Т. Шрейнер. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с.

References

1. Karnauhov N.F. Dempfirovanie kolebanii zahvatnogo ustroistva promyshlennogo robota v rejime dvuhtokovogo dinamicheskogo tormojeniya asinhronnogo dvigatelya pri chastotnom upravlenii / N.F. Karnauhov, M.N. Filimonov, Yu.V. Pudova // Vestnik DGTU. – 2009. – T. 9. – 308 s. – in Russian.

2. Karnauhov N.F. Osobennosti formirovaniya dvuhtokovogo dinamicheskogo tormojeniya asinhronnogo dvigatelya mehatronnnoi sistemy pri chastotnom upravlenii / N.F. Karnauhov, M.N. Filimonov, N.V. Derkachev // Mehatronika–2008: materialy IV mejdunar. nauch.-prakt. stud. kollokviuma (Novocherkassk, 18–20 iyunya 2008) / Yujno-Ros. gos. tehn. un-t. – Novocherkassk, 2008. – S. 17–20. – in Russian.

3. Robototehnicheskie sistemy v sborochnom proizvodstve / pod red. E.V. Pashkova. – Kiev: Vyscha shk., 1987. – 272 s. – in Russian.

4. Levitskii N.I. Teoriya mehanizmov i mashin / N.I. Levitinskii. – M.: Nauka. Glav. red. fiz.-mat. literatury, 1979. – in Russian.

5. Karnauhov N.F. Energeticheskie pokazateli elektroprivoda pri chastotnom sposobe upravleniya asinhronnym dvigatelem / N.F. Karnauhov, V.A. Prus, M.N. Filimonov // Dinamika tehnologicheskih sistem: tr. VIII mejdunar. nauch.-tehn. konf. / Donsk. gos. tehn. un-t. – Rostov n/D, 2007. – T. III. – 219 s. – in Russian.

6. Danilov A.I. Postroenie na elementah Simulink izmeritelei fazy, chastoty i amplitudy / A.I. Danilov // Proektirovanie injenernyh i nauchnyh prilojenii v srede MATLAB: tr. II nauch. konf. – 2004. – in Russian. 7. Shreiner R.T. Matematicheskoe modelirovanie elektroprivodov peremennogo toka s po-luprovodnikovymi preobrazovatelyami chastoty / R.T. Shreiner. – Ekaterinburg: URO RAN, 2000. – 654 s. – in Russian.

Материал поступил в редакцию10.06.10.

N.F. KARNAUKHOV, J.V. PUDOVA, M.N. FILIMONOV

VIBRATION SIMULATION OF TECHNOLOGICAL MACHINE BODY IN THE DYNAMIC BRAKING MODE OF ASYNCHRONOUS MACHINE WITH FREQUENCY CONTROL

Simulation of the vibration level of technological machines (TM) with an asynchronous electric frequency control allows to detect causes of interference effects, to identify oscillation suppression technics. A steplike program control stator current bias in the formation of AS torque on the shaft taking into account the amplitude and phase of the oscillation parameters is determined by the virtual phase-frequency meter.
Key words: TM mobility element, fluctuation amplitude and phase, two current inhibition AS, virtual measuring vibrations.

КАРНАУХОВ Николай Федорович (р. 1938), профессор кафедры «Робототехника и мехатроника» Донского государственного технического университета, кандидат технических наук (1983), доцент (1991). Окончил Уральский электромеханический институт (1963).
Область научных интересов: электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов, полупроводниковые преобразователи частоты промышленных установок и устройств целевого назначения.
Автор 109 публикаций, 4 учебных пособий.
Имеет 7 авторских свидетельств (СССР) и 3 патента на изобретения (РФ).

ПУДОВА Юлия Владимировна, магистрант Донского государственного технического университета. Окончила Донской государственный технический университет (2009).
Область научных интересов: управляемые электроприводы мехатронных систем и их исследование.
Автор 2 публикаций.

PJul87@gmail.com

ФИЛИМОНОВ Максим Николаевич (р. 1976), заместитель декана факультета «Автоматизация, мехатроника и управление», старший преподаватель кафедры «Робототехника и мехатроника» Донского государственного технического университета. Окончил Донской государственный технический университет (1999).
Область научных интересов: частотно-регулируемый электропривод мехатронных систем и технологического оборудования.
Автор 16 публикаций.
Имеет 2 патента на изобретения (РФ).

Nikolay F. KARNAUKHOV (1938), Professor of the Robotics and Mechatronics Department, DSTU. Candidate of Science in Engineering (1983), Associate Professor (1991). He graduated from Ural Electromechanical Institute (1963).
Research interests: electric drive and automation of the industrial installations and technological complexes, solid-state frequency converters, industrial facilities and special purpose devices.
Author of 109 scientific publications, 7 certificates of authorship of the USSR, 3 patents and 4 manuals.

Julia V. PUDOVA, Undergraduate DSTU. She graduated from the Don State Technical University (2009).
Research interests: guided electric mechatronic systems.
Author of 2 scientific publications.

PJul87@gmail.com

Maxim N. FILIMONOV (1976), Associate Dean of the Automation, Robotics and Management Faculty, Senior Lecturer of the Robotics and Mechatronics Department, DSTU. He graduated from Don State Technical University (1999).
Research interests: frequency-regulated electric mechatronic systems and process equipment.
Author of 16 scientific publications and 2 patents of the RF.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 379.85

Н.Д. ЕЛЕЦКИЙ, Н.Н. МОРОЗОВА

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ИНДУСТРИИ ДЕЛОВОГО ТУРИЗМА В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Представлены результаты исследования современных тенденций развития делового туризма в Ростовской области, определена роль бизнес-туризма в системе функционирования туристской индустрии на мировом, национальном и региональном уровне.
Ключевые слова: *туризм, деловой туризм, туристская индустрия, туристский и инвестиционный потенциал региона, тенденции и перспективы развития отрасли.*

Введение. Сегодня индустрия туризма представляет важный индикатор социально-экономического развития страны и ее регионов в системе мировой экономики. Однако переход экономики на современные инновационные принципы управления изменил условия функционирования туризма, тем самым привел к его существенной реорганизации, выявив и обозначив кардинально новые сегменты в системе туристской индустрии, такие, как деловой или бизнес-туризм. В последнее время этот вид туризма стал одной из наиболее динамично развивающихся форм международной торговли туристскими услугами на мировом, национальном и региональном уровне [1].

Несмотря на экспортоориентированный характер деятельности, туризм не приводит к истощению природных ресурсов, более стабилен по сравнению с другими отраслями экономики в условиях неустойчивой ситуации на мировых рынках. При этом туризм является существенным источником дохода, занятости, способствует диверсификации экономики, так как создаются отрасли, обслуживающие данную сферу.

Являясь одним из основных секторов мировой экономики, туризм оказывает существенное стимулирующее влияние на развитие ее ключевых отраслей. Данная отрасль формирует 11 % мирового ВВП, при доле в основных фондах около 7 %. Туризм обогащает и совершенствует социально-экономическую инфраструктуру и межрегиональное сотрудничество стран, государств и народов, тем самым улучшая их инвестиционный климат [2]. Сегмент рынка делового туризма имеет весомое значение: более 50 % мирового туризма приходится на деловой туризм. Этот динамичный рынок обеспечивает ежегодно 610 млн деловых поездок и почти 430 млрд долл. финансового оборота [3].

Кроме того, туризм обладает высоким мультипликативным эффектом: умножающий коэффициент в занятости населения выглядит следующим образом – одно рабочее место в сфере туризма создает 3–4 в смежных отраслях. В сфере туризма сегодня в мире занят каждый десятый работник, на ее долю приходится 7 % общего объема инвестиций. Все это является катализатором мультипликативного воздействия на экономику и социальную сферу [2].

В настоящее время мировая индустрия туризма является одной из наиболее динамично развивающихся сфер в международной торговле услугами. За последнее десятилетие (2000–2009 гг.) число прибытий иностранных туристов в мире постоянно увеличивается. Российские тенденции въездного туризма соответствуют общемировой динамике. Однако, начиная с 2004 г., обозначился спад туристских прибытий (см. табл.) [4].

Динамика прибытий иностранных граждан за 2000–2009 гг., млн чел.

Годы	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009*
Мир **	687,3	683,0	703,0	694,0	763,9	789,093	842,0	908,0	924,0	931,72
Россия***	2,598	2,6	2,686	3,152	2,861	2,385	2,433	2,214	2,295	2,100

** По предварительным данным Росстата.*
*** Всемирная туристская организация // http: www.unwto.org.*
**** Федеральная служба государственной статистики // http: www.gks.ru.*

При этом ресурсные возможности России позволяют при соответствующем уровне развития туристской инфраструктуры увеличить прием иностранных туристов в несколько раз. Однако туристский потенциал страны используется далеко не в полной мере, и создание условий для качественного отдыха на территории России во многом зависит от степени развития рынка туристских услуг [3].

В процессе развития мировой экономики на международном и российском рынке сформировались новые виды туризма, такие, как деловой или бизнес-туризм, ставший одной из наиболее динамично развивающихся форм международной торговли туристскими услугами.

Постановка задачи. Осознание перспективности и важности изучения системы национальной туристской отрасли и ее интеграции в международный бизнес делают важным анализ потенциала туристской привлекательности Ростовской области с учетом ее современного состояния и дальнейшего развития для приема и обслуживания иностранных бизнес-туристов.

Индустрия туризма как фактор увеличения финансово-денежного потока тесно связана с привлечением инвестиций в регион. В данном контексте целесообразно обратиться к показателям инвестиционной привлекательности в сфере туризма в анализируемом регионе.

Ресурсы инвестиционной привлекательности региона. В течение последних лет Ростовская область признается российской территорией, открытой для внешних инвестиций. По итогам рейтинга инвестиционной привлекательности регионов России, проводимого агентством «Эксперт РА» и Всемирным Банком, Ростовская область, заняв шестое место, попала в десятку регионов с минимальным инвестиционным риском. Подтверждение этому – деятельность в области крупнейших мировых концернов, предприятий, финансовых структур. Объем внешних инвестиций в основной капитал области в 2008 г. составил более 126 млрд руб. Темп роста к 2007 г. – 114,3 %. Итоги первого полугодия 2009 г. (Ростовстат предоставит сведения за 2009 г. только в августе 2010 г.) свидетельствуют о сохраняющихся тенденциях. Рост объема инвестиций – около 115 % по сравнению с первым полугодием 2008 г. или 62 млрд руб. Доля инвестиций в сферу туризма по экспертным данным составляет около 5 % [7].

Деловой (конгрессно-выставочный) профиль региона подтверждается инвестиционной активностью в этой сфере: сегодня реализуются проекты развития перспективных территорий, инвестиционные проекты строительства бизнес-центров, офисно-гостиничных комплексов и конгресс-отелей. В 2009 г. в Ростовской области были введены в эксплуатацию: гостинично-оздоровительный комплекс «Темеринда», г. Таганрог (реконструкция); оздоровительный комплекс «Адрия», г. Таганрог (I этап строительства); гостиничный комплекс «Грант», г. Каменск-Шахтинский (реконструкция); торгово-гостиничный комплекс «БАЙК», г. Каменск-Шахтинский (строительство). Многие проекты инвестиционного вложения в объекты туристской индустрии находятся в стадии строительства. Таким образом, именно предоставление услуг в сфере делового туризма определяет специализацию крупных строительных компаний, и, в свою очередь, деловых центров Ростовской области на туристском рынке [10].

Принимая во внимание экономическую целесообразность и в связи с этим высокую инвестиционную привлекательность туристской отрасли в регионе, Администрация Ростовской области оказывает существенное влияние на ее развитие. С целью создания благоприятных экономических условий в области для дальнейшего устойчивого развития туризма и удовлетворения спроса потребителей на туристские услуги в 2008 г. Законодательным Собранием Ростовской области был принят областной закон «Об областной целевой программе "Развитие туризма в Ростовской области на 2008–2010 годы"». По последним данным [8], общий объем финансирования, предполагаемый для реализации Программы с учетом секвестирования бюджета 2009 г., составил 11032931,0 тыс. руб., из которого средства областного бюджета – 73246 тыс. руб., внебюджетные источники (Группа компаний «Интурист», ОАО «Аэропорт Ростова-на-Дону», ОАО «Таганрогский яхт-клуб», ООО «АМИ-СЕРВИС ЮГ», ООО «Гольф & Кантри клуб "Дон"» и др.) – 10959685,0 тыс. руб.

На сегодняшний момент Департаментом развития малого и среднего предпринимательства и туризма Ростовской области совместно с Межведомственным координационным советом по туризму Ростовской области (МКСТ) ведется разработка областной долгосрочной целевой программы развития туризма в Ростовской области на 2011–2013 гг.

Современный рынок делового туризма является наиболее динамичным и перспективным. В России специалисты вместо термина «деловой туризм» часто используют английскую аббревиатуру *MICE (Meetings, Incentives, Conferences, Exibilions* – деловые встречи, инсентив-туризм, конференции, выставки). Этот термин и англоязычная аббревиатура широко применяются в международной практике делового туризма для обозначения четырех составляющих делового туризма [5].

Деловой туризм связан с развитием внешнеэкономических связей, стремлением использовать передовой опыт других стран и народов в создании духовных и материальных ценностей, что способствует расширению международных контактов. Насыщенная профессиональная часть делового визита гармонично сочетается с обширной экскурсионной страноведческой программой посещаемого региона.

В среднесрочной перспективе у региона есть предпосылки для дальнейшего развития делового и развлекательного туризма. Этому способствуют высокие темпы экономического роста, наличие крупных, успешно развивающихся компаний и административных структур, которые инициируют большое количество проводимых мероприятий, а также решение о формировании игорной зоны на территории Щербиновского района Краснодарского края и Азовского района Ростовской области.

При финансовой поддержке областной администрации в целях всестороннего представления туристского потенциала Донского края на международном и внутреннем рынках в 2009 г. были организованы и проведены выставочно-ярмарочные мероприятия с международным участием субъектов туристской индустрии: «Мир без границ» (16–17 апреля); «Бизнес Дона» (29–31 октября). В 2009 г. субъекты туриндустрии области приняли участие в семи специализированных туристских выставочных мероприятиях при поддержке Комитета по туризму Москвы и Федерального агентства по туризму Минспорттуризма РФ: «FITUR-2009» (Испания, Мадрид, 28 января–1 февраля); «Кавказская здравница» (Россия, г. Кисловодск, 26–28 февраля); «ITB» (Германия, Берлин, 11–15 марта); «Интурмаркет-2009» (Россия, Москва, 21–24 марта); «Moscow International Travel Fair-2009» (Россия, Москва, 11–14 мая); «Экотуризм европейских степей» (Украина, г. Луганск, 12–14 мая); «World Travel Market» (Великобритания, Лондон, 9–12 ноября). Показатели экономической эффективности проведения и участия в подобных национальных и международных мероприятиях подтверждают актуальность и целесообразность применяемых методов регулирования и организации туризма в регионе [6].

Во всем мире индустрия делового туризма (*MICE*) превращается в большой бизнес. Для Ростовской области крайне важна современная практическая программа и стратегия поэтапного развития и стимулирования делового туризма. Активное содействие развитию делового туризма необходимо оказывать, учитывая его место, перспективность в экономике и характер самой индустрии туризма. Такой программой может стать «Стратегия развития туризма в Ростовской области» на 2010–2012 гг. В первую очередь, Стратегия направлена на формирование нового перспективного благоприятного имиджа и образа Ростовской области на международном рынке в целях привлечения в регион иностранных туристов, а на перспективу – инвестиций.

Придать уникальность уже имеющемуся деловому предложению призвано развитие, прежде всего, познавательного и рекреационного туризма, что в долгосрочной перспективе обеспечит комплексный туристский продукт, конкурентоспособный на российском и международном рынках. Основными туристскими центрами Ростовской области являются города: Ростов-на-Дону, Азов, Новочеркасск, Таганрог; станицы: Старочеркасская (Аксайский район), Вёшенская (Шолоховский район), Раздорская (Усть-Донецкий район), хутор Недвиговка (Мясниковский район) [6].

Выделим основные направления развития делового туризма в Ростовской области:

- создание современного высокоэффективного и конкурентоспособного туристского комплекса, обеспечивающего широкие возможности для удовлетворения потребностей российских и иностранных граждан в разнообразных туристских услугах;
- формирование современной маркетинговой стратегии продвижения Ростовской области на внутреннем и международном рынках;
- организация и проведение международных туристских выставок в Ростовской области;
- обеспечение деятельности загранпредставительств по туризму, выполняющих функции рекламно-информационных офисов, в рамках деятельности торговых представительств в Ростовской области;

– организация сети информационных центров для иностранных и российских туристов в регионе при информационной поддержке федерального органа исполнительной власти в сфере туризма;

– проведение ознакомительных поездок (инфотуров) по Ростовской области для представителей иностранных СМИ и туриндустрии;

– организация презентаций туристских возможностей региона в странах, направляющих туристов в Россию;

– формирование современной статистики делового туризма, соответствующей международным требованиям в рамках решений Статистической комиссии ООН, учитывающей показатели смежных отраслей и определяющей совокупный вклад туризма в экономику страны;

– создание организационно-правовых и экономических условий для стимулирования развития въездного и внутреннего туризма, что требует определенной корректировки действующего законодательства развития туризма, в том числе внесения изменений и дополнений в существующие нормативные правовые акты в смежных областях;

– эффективное управление государственной собственностью в туристской индустрии;

– создание необходимых условий для успешного развития гостиничных средств размещения и иной туристской инфраструктуры;

– создание благоприятного инвестиционного климата для российских и иностранных компаний, вкладывающих средства в развитие туристской инфраструктуры Ростовской области;

– совершенствование визовой политики в отношении туристов из стран, не представляющих миграционной опасности, и вместе с тем усиление контроля выдачи виз туристам, следующим из опасных в миграционном отношении государств;

– разработка механизма усиления ответственности туристских организаций за нарушения правил въезда, выезда и пребывания иностранцев в России при визовой поддержке этих организаций.

– укрепление и дальнейшее развитие межотраслевой и межрегиональной координации для повышения эффективности национальной туристской индустрии;

– создание межведомственной комиссии при федеральном органе исполнительной власти в сфере туризма в целях совершенствования межотраслевой и межрегиональной координации;

– создание межведомственной комиссии по упорядочению использования государственной собственности в туристской индустрии;

– повышение качества обслуживания в сфере туризма;

– создание современной системы подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров, включая разработку и внедрение современных отраслевых образовательных стандартов, базирующихся на действующих квалификационных требованиях к работникам индустрии туризма в регионе;

– создание и реализация учебных программ, соответствующих отраслевым потребностям и предусматривающих практическое обучение персонала, в том числе посредством внутригостиничного и внутрифирменного тренинга (практика), в пределах средств, предусматриваемых в бюджете на образование;

– реализация специализированных программ повышения квалификации менеджеров высшего управленческого звена туристско-гостиничного бизнеса, в том числе организация стажировок за рубежом за счет внебюджетных источников;

– поддержка перспективных прикладных исследований в области делового туризма в рамках средств, выделяемых на эти цели федеральным органом исполнительной власти в сфере туризма;

– развитие инфраструктуры.

Развитие делового туризма на базе новейших информационных технологий, последних мировых достижений в этой отрасли может стать одним из эффективных ресурсов развития российских компаний и их интеграции в мировой экономический процесс. Грамотное освоение этого ресурса позволит уже в ближайшее время получить заметную отдачу для всей экономики региона и страны в целом.

Необходимо отметить следующие тенденции развития составляющих делового туризма (*MICE*) в Ростовской области в ближайшем будущем:

- превалирование индивидуальных деловых поездок (их количество неуклонно растет);
- устойчивое повышение спроса на посещение различных отраслевых выставок;
- рост конгрессно-выставочного туризма;
- рост спроса на услуги по организации мини-выставок, презентаций, а также семинаров и тренингов во время проведения конференций;
- развитие сектора инсентив-туризма;
- сохранение тенденции сокращения продолжительности деловых мероприятий до 2–3 дней и среднего количества участников.

Что касается перспектив развития туризма, в большей степени сегмента бизнес-туризма, то Ростовская область, обладая стратегически выгодным местоположением, высоким экономическим потенциалом и наличием необходимых ресурсов, может выступить географически посредническим регионом для российских и зарубежных туристов и бизнес-путешественников на пути к олимпийскому городу Сочи. Именно в этом городе состоятся первые в России зимние Олимпийские игры в 2014 г. Поток российских и иностранных гостей, национальных и зарубежных инвесторов вряд ли обойдет Ростовскую область по пути в Сочи, что, в свою очередь, станет важнейшим экономическим катализатором развития области и всего Южного федерального округа.

Уже сейчас наблюдается стремительный рост популярности проведения событийных экономических мероприятий национального и мирового масштаба на территории г. Ростова-на-Дону и Ростовской области. А именно, в первом полугодии 2010 г. прошли мероприятия: Дни греческой культуры и экономики на Дону (21–23 марта); XIII Международный туристско-курортный фестиваль при поддержке администрации Ростовской области «Мир без границ» (16–17 апреля); форум «Экономика и образование» в рамках проведения дней Финляндии в России (17–19 мая); Международный фестиваль Россия–Украина «Молодежь – за союзное государство» (май–июнь) и главное событие – саммит Евросоюза (31 мая–1 июня), который впервые прошел на Юге России [9].

Глава МИД РФ Сергей Лавров на пресс-конференции по итогам встречи с верховным представителем Евросоюза по внешней политике и политике в области безопасности Кэтрин Эштон подчеркнул: «Россия важнейшим направлением взаимодействия с ЕС считает партнерство для модернизации». Глава МИД России напомнил, что эта концепция была поддержана на предыдущем саммите Россия–ЕС в Стокгольме в прошлом году. «Сейчас мы приступили к практическому разговору о наполнении этой концепции конкретным содержанием с нашими партнерами из Евросоюза. Первые очертания будущего партнерства, по-моему, уже определились – мы хотим поставить во главу угла конкретные, практически значимые направления сотрудничества, которые касаются развития экономики, социальной сферы, образования, науки, технологии, инноваций, управления, администрирования и правоприменения», – подчеркнул российский министр [5].

Все эти мероприятия, безусловно, привлекли пристальное внимание экономической и политической общественности, что благоприятно отразится на социально-экономическом развитии и внесет конкретный вклад в становление и укрепление туристской отрасли в Ростовской области.

Заключение. Проведенный анализ состояния туристской деятельности Ростовской области позволяет сделать следующие выводы.

Туристский профиль региона был определен согласно сравнительному анализу турпродуктов регионов Южного федерального округа. В настоящее время преобладающим туристским продуктом Ростовской области является проведение большого количества событийных, конгрессных и выставочных мероприятий.

Это свидетельствует о развитии делового туризма в регионе. Было выявлено что:

- деловой туризм играет важнейшую роль в развитии национальной экономики любой страны, активно содействует ее интеграции в мировой рынок;
- деловой туризм дает более высокий уровень доходности;
- бизнес-туры в меньшей степени подвергаются зависимости от сезонности проведения мероприятия;

– деловой туризм оказывает минимальное воздействие на окружающую среду, не подвергая ее загрязнениям;

– деловой (конгрессно-выставочный) туризм является фактором роста экономического развития и способом продвижения региона;

– деловой туризм – быстроразвивающийся сектор экономики как мировой, так и Российской, приносящий стабильную высокую прибыль;

– одним из наиболее прибыльных секторов делового туризма является инсентив-туризм;

– наличие проблем, тормозящих становление и развитие делового туризма в Ростовской области и России в целом, таких, как отсутствие необходимой инфраструктуры, высокая стоимость транспортного обслуживания, незащищенность со стороны государства, отсутствие информации, рекламы и *PR*, несоответствие европейскому уровню обслуживания и подготовки персонала.

В результате проведенного анализа и с учетом обозначенных в данной статье предложений по модернизации и совершенствованию отрасли, были сформулированы следующие рекомендации дальнейшего развития делового туризма в Ростовской области:

– совершенствование региональных нормативно-правовых актов в сфере туризма;

– привлечение местных властей к решению существующих проблем и совершенствованию организации в регионе туризма в целом и делового в частности;

– упрощение визовых формальностей;

– повышение квалификации персонала;

– формирование современной маркетинговой стратегии продвижения Ростовской области на внутреннем и международном рынках посредством организации и проведения межрегиональных инфотуров (ознакомительных поездок) для иностранных представителей туриндустрии и СМИ;

– разработка комбинированных туристских маршрутов и туров с целью делового и культурно-познавательного посещения Ростовской области как российскими, так и иностранными туристами.

Росту туристской привлекательности Ростовской области способствует реализация мероприятий областной целевой программы «Развитие туризма в Ростовской области на 2008–2010 годы». По итогам реализации Программы прогнозируется:

– увеличение числа прибывающих в Ростовскую область иностранных и российских туристов не менее чем на 10,5 %;

– увеличение номерного фонда средств размещения на 20 %;

– прирост объема платных туристских услуг, услуг гостиниц и аналогичных коллективных средств размещения и специализированных средств размещения не менее чем на 30 %;

– создание дополнительных рабочих мест по результатам проведенного мониторинга.

Реализация Программы позволяет:

– преодолевать факторы, сдерживающие развитие туризма в Ростовской области;

– создавать конкурентоспособный региональный туристский продукт, сохраняя историко-культурное наследие и экологический баланс Ростовской области;

– эффективнее использовать человеческие, информационные, материальные и иные имеющиеся ресурсы с учетом сложившегося рынка труда и задач социально-экономического развития Ростовской области;

– интенсивно развивать смежные отрасли экономики и значительно повысить уровень занятости населения, учитывая воздействие туризма на все стороны жизни общества;

– обеспечить привлекательность Ростовской области в качестве туристской и деловой дестинации;

– повышать конкурентоспособность туризма как стратегического профиля региона [6].

Выводы. Ростовская область, благодаря сочетанию уникальных достопримечательностей, историко-культурного наследия, гостеприимного населения, самобытной казачьей культуры и необходимой конгрессно-выставочной и деловой инфраструктуры, привлекает множество туристов, путешествующих с развлекательными и деловыми (профессиональными) целями, способствуя развитию в регионе международного туризма в целом и делового в частности.

Деловой туризм играет важнейшую роль в развитии национальной экономики любой страны, активно содействует ее интеграции в мировой рынок, предоставляя более высокий уровень доходности. Являясь быстроразвивающимся сектором мировой и национальной экономики, деловой туризм выступает способом и фактором роста местного экономического развития.

Библиографический список

1. Организация туристской деятельности, или что надо знать начинающим туроператорам и турагентам: метод. пособие / Министерство экономики, торговли, международных и внешнеэкономических связей Администрации РО. – Ростов н/Д, 2008. – С. 13.
2. Facts & Figures // Tourism highlights. Edition 2009. World Tourism Organization [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.unwto.org.
3. The Russian Outbound Travel Market // Tourism highlights. Edition 2009. World Tourism Organization [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:// www.unwto.org.
4. Д. Медведев рассчитывает на плодотворное партнерство РФ и Евросоюза // Российское информационное агентство «РосБизнесКонсалтинг» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://top.rbc.ru/politics/24/02/2010/374300.shtml.
5. Динамика прибытий иностранных граждан за 2000–2009 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http: www.gks.ru.
6. MICE за рубежом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://conference.ru/articles/1142184968/.
7. Развитие туризма в Ростовской области: областная целевая программа на 2008–2010 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.donland.ru.
8. Постановление Администрации Ростовской области от 17.05.2010 № 317 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.donland.ru.
9. Саммит Россия-Евросоюз пройдет в Ростове-на-Дону // Вестник Кавказа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.vestikavkaza.ru/news/politika/rostovskaya-oblast/15963.html.
10. Туристы любят Дон // Блокнот. – Ростов н/Д. – 2010. – 20–27 марта. – С. 17.

References

1. Organizaciya turistskoi deyatel'nosti, ili chto nado znat' nachinayuschim turoperatoram i turagentam: metod. posobie / Ministerstvo ekonomiki, torgovli, mejdunarodnyh i vneshneekonomicheskih svyazei Administracii RO. – Rostov n/D, 2008. – S. 13. – in Russian.
2. Facts & Figures // Tourism highlights. Edition 2009. World Tourism Organization – http://www.unwto.org.
3. The Russian Outbound Travel Market // Tourism highlights. Edition 2009. World Tourism Organization – http:// www.unwto.org.
4. D. Medvedev rasschityvaet na plodotvornoe partnerstvo RF i Evrosoyuza // Rossiiskoe informacionnoe agentstvo «RosBiznesKonsalting» – http://top.rbc.ru/politics/24/02/2010/374300.shtml. – in Russian.
5. Dinamika pribytii inostrannyh grajdan za 2000–2009 gg. – http: www.gks.ru. – in Russian.
6. MICE za rubejom – http://conference.ru/articles/1142184968/. – in Russian.
7. Razvitie turizma v Rostovskoi oblasti: oblastnaya celevaya programma na 2008–2010 gody – http://www.donland.ru. – in Russian.
8. Postanovlenie Administracii Rostovskoi oblasti ot 17.05.2010 № 317. – http://www.donland.ru. – in Russian.
9. Sammit Rossiya-Evrosoyuz proidet v Rostove-na-Donu // Vestnik Kavkaza – http://www.vestikavkaza.ru/news/politika/rostovskaya-oblast/15963.html. – in Russian.
10. Turisty lyubyat Don // Bloknot. – Rostov n/D. – 2010. – 20–27 marta. – S. 17. – in Russian.

Материал поступил в редакцию 21.05.10.

N.D. ELETSKY, N.N. MOROZOVA

BUSINESS TOURISM INDUSTRY IN ROSTOV REGION: CURRENT DEVELOPMENT TRENDS

The results of current trends and tendencies of business tourism development in Rostov region are presented, the role of business tourism for tourist industry system performance is defined on the world, national and regional levels.
Key words: tourism, business tourism, tourist industry, regional tourist and investment potential, trends and perspectives of the industry development.

ЕЛЕЦКИЙ Николай Дмитриевич (р. 1952), зав. кафедрой «Мировая экономика и международные экономические отношения» Донского государственного технического университета, доктор экономических наук (1992), профессор (1994). Окончил Ростовский государственный университет (1974).
Область научных интересов: эволюция экономической теории, структура мирового хозяйства, экономические последствия глобального финансового кризиса.
Автор более 130 научных публикаций.

nde527@yandex.ru

МОРОЗОВА Наталья Николаевна, ассистент кафедры «Мировая экономика и международные экономические отношения» факультета инновационного бизнеса и менеджмента.
Область научных интересов: социально-экономическая эффективность развития туристской индустрии на мировом, национальном и региональном уровне, тенденции развития мировой экономики и международных экономических отношений.
Автор 13 научных публикаций.

nata.dstu@yandex.ru.

Nikolay D. ELETSKY (1952), Head of the World Economy and International Economic Relations Department, Don State Technical University. Ph.D. in Economics (1992), Professor (1994). He graduated from Rostov State University (1974).
Research interests: evolution world economy structure, global finance crisis consequencqs.
Author of more than 130 scientific publications.

nde527@yandex.ru.

Natalia N. MOROZOVA, Teaching Assistant of the World Economy and International Economic Retations Department, Don State Technical University.
Research interests: social and economic efficiency of tourism industry development on the world, national and regional levels; current development trends of international economy and international economic relations.
Author of 13 scientific publications.

nata.dstu@yandex.ru.

УДК 33:005.5:339.138:62

Л.В. МЯСОЕДОВА, Е.Р. ХАБИБУЛЛИНА

ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНЫЙ АНАЛИЗ КАК ИНСТРУМЕНТ ИНЖЕНЕРНОГО МАРКЕТИНГА В СИСТЕМЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Представлена концепция экономического управления (ЭУ) предприятием. Приведен основной состав инструментов ЭУ, комплексное сочетание которых имеет вид «цепочки». Определена роль функционально-стоимостного анализа (ФСА) как инструмента инженерного маркетинга в системе ЭУ.
Ключевые слова: *экономическое управление предприятием, инструменты экономического управления, контроллинг, функционально-стоимостный анализ.*

Введение. В настоящее время российские предприятия столкнулись с проблемой выживания в условиях мирового финансового кризиса. Глобализация экономики представляет достаточно полный доступ к внешней среде, однако это, наряду с новыми возможностями, приносит предприятиям и новые проблемы, связанные с ограниченной возможностью их эффективного функционирования на внутренних и внешних рынках. Большое значение имеет отставание российской экономики, отмечаемое большинством экономистов, прежде всего, в области создания и производства конкурентоспособной продукции. Перед российскими предприятиями стоят проблемы, связанные с управлением научно-техническим прогрессом, поисками новых, нетрадиционных путей создания и продвижения на рынок научно-технических нововведений (НТНВ). Необходимы новые механизмы управления, ориентированные на рыночные потребности и предпочтения потребителей, что возможно только при условии маркетингового управления, когда маркетинг становится философией, исповедуемой персоналом предприятия от менеджеров высшего звена до инженеров.

В результате для множества предприятий России, переживающих последствия экономического кризиса, особо остро стоит вопрос повышения эффективности их функционирования, в том числе создания конкурентоспособных научно-технических нововведений.

Экономическое управление – вид управленческой деятельности, базирующейся на экономическом мышлении и направленной на решение задач путем использования экономических методов управления на основе информации, механизм которой включает формы и методы управления объектами с использованием закономерностей, возникающих в процессе производства и продажи товаров, продукции, работ, услуг.

Основными компонентами ЭУ предприятием являются маркетинг, логистика, бизнес-планирование, учет, управление финансами и персоналом. ЭУ нацелено на получение результатов в виде доходов, издержек, прибыли, капиталовложений.

Основным содержанием ЭУ является:

– определение взаимосвязей между отдельными элементами (затраты, цена, объем выпускаемой продукции) и их влияния на экономические характеристики предприятия в целом (финансовая устойчивость, самофинансирование, рентабельность деятельности и т.д.);

– определение наиболее рационального соотношения переменных и постоянных издержек в себестоимости продукции различной номенклатуры, определение цены и количества выпускаемой продукции различной номенклатуры с целью обеспечения безубыточности производства и получения прибыли;

– выбор и обоснование наиболее оптимального варианта технологического процесса производства продукции, обеспечение производственного цикла наиболее целесообразными машинами и оборудованием, обоснование возможной и наиболее выгодной для предприятия кооперации и специализации;

– принятие решений по номенклатуре и объему выпуска продукции в соответствии с имеющимися на предприятии необходимыми ресурсами (материальными, трудовыми, финансовыми);

– обеспечение экономической эффективности инвестиционных проектов, направленных на запуск в производство новой продукции, модернизацию и обновление оборудования, реконструкцию предприятия;

– обоснование ценообразования по каждому виду продукции, выпускаемой предприятием;

– принятие решений по рациональному использованию резервов предприятия для повышения экономической эффективности работы предприятия, выработка предложений по созданию новых и корректировке существующих нормативов по материальным, финансовым и трудовым затратам, связанным с производством продукции, услуг;

– экономическое обоснование способов повышения уровня качества производимой продукции, услуг;

– проведение регулярного анализа финансово-хозяйственной деятельности предприятия, определение основных результатов работы предприятия (рентабельность, оборачиваемость капитала и т.д.), анализ трудоемкости работ по каждому виду продукции, производительности труда;

– организация учета и контроля производственной и экономической деятельности предприятия;

– обеспечение стратегического, тактического и оперативного планирования на предприятии как единого процесса, технико-экономическое обоснование производственной и финансовой деятельности предприятия.

Перечисленные задачи системы ЭУ теснейшим образом связаны с инженерной деятельностью, технической компетентностью и маркетинговым мышлением инженеров, создающих новую конкурентоспособную на внешних и внутренних рынках продукцию.

Синтез элементов ЭУ в единую концепцию, а также его симбиоз с подсистемами производственного (ПУ) и организационного (ОУ) управления предприятием, графически представлен на рис.1.



Рис.1. Концепция экономического управления предприятием

Концепция ЭУ включает совокупность его основных целей, сформированных с учетом общих целей предприятия, научно-обоснованных принципов функционирования подсистемы ЭУ, специфических, свойственных именно экономическому управлению методов, конкретных функций управления.

Объектами ЭУ могут выступать как предприятие в целом, так и его структурные подразделения.

Субъект ЭУ – лицо, принимающее решение (ЛПР), должно учитывать в своих действиях разделение общей системы управления предприятием на три подсистемы управления – экономическую, производственную и организационную. Они представлены на схеме в виде трех взаимопересекающихся множеств, в зоне пересечения происходит их совместное участие в решении общих вопросов управления, где пересечение отсутствует – решение частных вопросов, относящихся к компетенции выделенных видов управления.

Концепция экономического управления предполагает формирование соответствующей стратегии по изменению результирующих показателей деятельности предприятия для достижения как целей экономического управления, так и общих целей предприятия. Более того, теоретические исследования позволяют выявить методы и механизмы экономического управления, обеспечивающие эффективное развитие предприятия, ориентацию на максимальное удовлетворение спроса потребителей, применение современных технологий и инноваций.

В процессе исследования и выработки основных теоретических положений экономического управления был определен набор инструментов, комплексное сочетание которых представлено в виде «цепочки», расположенной в определенной последовательности и включающей управленческий учет, контроллинг, функционально-стоимостный анализ (ФСА), технико-экономический анализ (ТЭА), при этом каждый инструмент имеет адекватные соответствующей частной проблеме методы и механизмы (рис.2).

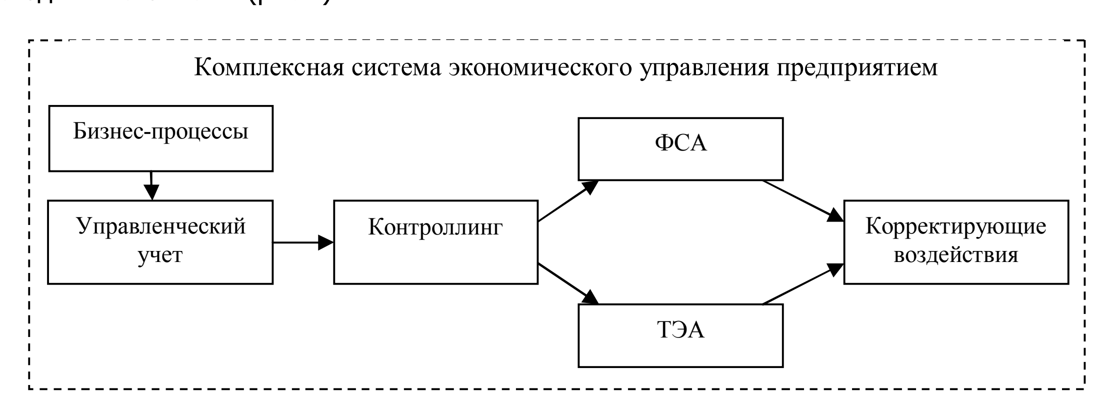


Рис.2. «Цепочка» экономического управления предприятием

Формирование «цепочки» экономического управления начинается с управленческого учета, который, фиксируя показатели бизнес-процессов на предприятии, создает для всей комплексной системы экономического управления предприятием своевременное обеспечение необходимой информацией, отражающей суть протекающих экономических процессов, причем экономическое управление оперирует не только стоимостными, но и натуральными показателями.

Следующим этапом является контроллинг, т.е. систематический контроль, отслеживание хода выполнения поставленных задач с одновременной коррекцией работы, осуществляемые на основе соблюдения установленных стандартов и нормативов, постоянного регулирования и мониторинга [1]. Управленческий учет является информационной основой контроллинга, позволяющий выявлять проблемы (узкие места), возможные их причины и виновников.

Инструментами контроллинга являются аналитические процедуры, основные из которых – функционально-стоимостный анализ, позволяющий выявлять проблемные ситуации исходя из стоимостного обеспечения функции, и осуществлять технико-экономический анализ, принимая во внимание стоимость объекта.

В результате проводимого в процессе мониторинга систематического и системного анализа решаются вопросы, как правило, связанные с повышением конкурентоспособности производи-

мой продукции не только в области оптимизации соотношения цена-качество, но и маркетинга. Таким образом, функционально-стоимостный и технико-экономический анализ и, как следствие, выработка корректирующих воздействий, должны основываться на маркетинговом подходе, для чего необходимо соединение технической компетентности инженеров с маркетинговым мышлением.

Известно, что конкурентного преимущества, как правило, добиваются те предприятия, которые при организации производства, создании и реализации новых продуктов эффективно используют инженерный маркетинг и ориентируются, прежде всего, на интересы потребителей.

Под инженерным маркетингом в настоящее время понимается интеграция маркетинговой идеологии в инженерную деятельность, причем важную роль играет именно работа инженера с маркетинговым мышлением (инженера-предпринимателя) при создании, производстве и реализации продукции, работ, услуг, позволяющая полностью удовлетворять интересы потребителя.

Концепция инженерного маркетинга предприятия – это философия управления НТНВ во всех сферах деятельности предприятия: НИОКР, производство, реализация продукции в соответствии с целями и задачами предприятия на основе маркетингового мышления инженеров всех уровней.

В работе Зозуля Д.М. инженерный маркетинг рассматривается как вид деятельности, связанный с производством и реализацией продукции, услуг, нужных потребителю через расширенный комплекс инженерного маркетинга и представляется комплексным научным направлением, прививающим инженеру маркетинговое мышление и позволяющим системно решать научно-технические, организационные, производственные, экономические и социальные задачи [2].

Таким образом, помимо решения основных задач в деятельности инженера появляются новые, связанные с необходимостью изучения и систематического отслеживания изменений рынка НТНВ, ориентацией на потребителя (изучение его запросов), конкурентов, дилеров и поставщиков, обеспечением требуемого гарантийного обслуживания, созданием продукции, имеющей соответствующий внешний вид. При этом большое значение приобретает применение информационных технологий в целях обеспечения конкурентоспособности продукции и снижения затрат, связанных с ее производством и реализацией.

Необходимо подчеркнуть, что потребители отдают свое предпочтение продукции и услугам, исходя из их технической функциональности (возможности продукта, удобства эксплуатации, эргономичности, надежности, послепродажного обслуживания) и стоимости (цены приобретения, затрат на обслуживание).

Лежащий в основе функционально-стоимостного анализа принцип выделения основных функций абсолютно согласуется с концепцией инженерного маркетинга, предполагает сосредоточение основного внимания на функциях товара, ориентированных на потребителя, а не на его реальной структуре, определяя возможности достижения, с одной стороны, высокого качества продукции, а с другой – минимизации затрат на ее производство.

Функционально-стоимостный анализ (*Activity Based Costing, ABC*) – метод определения стоимости и других характеристик изделий, услуг и потребителей, использующих в качестве основы функции и ресурсы, задействованные в производстве, маркетинге, продаже, доставке, технической поддержке, оказании услуг, обслуживании клиентов, а также обеспечении качества [3].

Функционально-стоимостный анализ достаточно активно применяется для решения задач инженерного маркетинга и используется в качестве самостоятельного метода для решения частных задач. В зависимости от целей исследования и практической приложимости функционально-стоимостного анализа возможно использование целого набора инструментов, таких, как метод структурирования функции качества, метод Парето, *ABC*-анализ, метод Тагути, метод анализа характера и последствий отказов, параллельное проектирование, теория решения изобретательских задач (ТРИЗ) и иные методы. В результате для каждой отдельной задачи выстраивается определенный план действий, основанных на применении приведенных выше методов для решения научных, проектных или производственных проблем на всех стадиях жизненного цикла производимой продукции.

В зарубежной проектной и организационно-управленческой практике решения задач функционально-стоимостный анализ известен как методология стоимости и его использование является неотъемлемой частью деятельности большинства компаний. Принципы организации,

методы и средства поддержки принятия решений, обеспечивающие проведение ФСА, адаптированы к нашим условиям и достаточно успешно используются практически в любой области. Наиболее широко ФСА в настоящее время применяется для технических объектов-изделий, их частей и деталей, оборудования, технологических процессов производства. Основная цель анализа при этом – выявление резервов снижения затрат на исследования и разработки, производство и эксплуатацию рассматриваемых объектов [4].

ФСА является методом системного исследования функций продукта или бизнес-процесса в целом, работоспособности различных объектов и затрат на их реализацию. Интересным представляется применение функционально-стоимостного анализа не только в сфере технологической подготовки производства (создание и производство конкурентоспособной продукции), но и в сфере технических решений в инженерной деятельности на всех стадиях производства и реализации продукции.

Вывод. Функционально-стоимостный анализ является одним из эффективных инструментов инженерного маркетинга в системе экономического управления, при помощи которого возможно выполнение многих задач инженерной деятельности, связанных с созданием такой продукции, которая была бы эффективной с точки зрения потребительского спроса, и, как следствие, приносила доходы предприятию, при этом решаются и некоторые из основных задач экономического управления.

Библиографический список

1. Большой энциклопедический словарь [Электронный ресурс] // Справочно-информационный интернет-портал «Словари 299». – Электрон. дан. – Режим доступа: http://slovari.299.ru/, свободный.

2. Зозуля Д.М.. Формирование механизма устойчивого развития экономики предприятий на основе инженерного маркетинга: автореф. дис. … канд. экон. наук / Д.М. Зозуля. – Ростов н/Д, 2010. – 24 с.

3. Ивлев В., Попова Т. Методология функционально-стоимостного анализа *ABC* (ФСА) [Электронный ресурс] // Сайт www.citforum.btsau.net.ua. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.interface.ru/ca/metod.htm, свободный.

4. Кузьмин А.М. Методология стоимости [Электронный ресурс] / Центр креативных технологий INVENTECH. – Электрон. дан. – Режим доступа: file://localhost/F:/к%20статье%20фса%20в%20инж%20марк/Создание%20конкурентного%20преимущества.mht.

References

1. Bol'shoi enciklopedicheskii slovar' // Spravochno-informacionnyi internet-portal «Slovari 299». – http://slovari.299.ru. - in Russian.

2. Zozulya D.M.. Formirovanie mehanizma ustoichivogo razvitiya ekonomiki predpriyatii na osnove injenernogo marketinga: avtoref. dis. … kand. ekon. nauk / D.M. Zozulya. – Rostov n/D, 2010. – 24 s. – in Russian.

3. Ivlev V., Popova T. Metodologiya funkcional'no-stoimostnogo analiza ABC (FSA) – http://www.interface.ru/ca/metod.htm. – in Russian.

4. Kuz'min A.M. Metodologiya stoimosti/ Centr kreativnyh tehnologii INVENTECH. – file://localhost/F:/к%20статье%20фса%20в%20инж%20марк/Создание%20конкурентного%20преимущества.mht. – in Russian.

Материал поступил в редакцию 21.05.10.

L.V. MYASOYEDOVA, E.R. KHABIBULLINA

ACTIVITY-BASED COSTING AS ENGINEERING MARKETING INSTRUMENT IN THE ECONOMIC MANAGEMENT SYSTEM

The concept of enterprise economic management is presented. Basic set of tools - in the form of 'chain' - is described. The role of activity-based costing as an engineering marketing instrument in the economic management system is determined.

Key words: enterprise economic management, economic management tools, controlling, activity-based costing.

МЯСОЕДОВА Людмила Вениаминовна, профессор (2002) кафедры «Инженерная экономика и маркетинг» Донского государственного технического университета, кандидат экономических наук (1976). Окончила факультет «Автоматические и телемеханические электроизмерительные приборы и устройства» Ростовского института сельскохозяйственного машиностроения (1963).
Область научных интересов: стратегическое планирование, экономическая безопасность.
Автор более 200 публикаций.

lmyasoedowa@yandex.ru

ХАБИБУЛЛИНА Евгения Ринатовна, старший преподаватель кафедры «Инженерная экономика и маркетинг» Донского государственного технического университета. Окончила факультет «Технология машиностроения» (2004) и факультет «Гуманитарный» (2007) Донского государственного технического университета.
Область научных интересов: стратегическое планирование, экономическая безопасность.
Автор 4 публикаций.

Geniahab@mail.ru

Lyudmila V. MYASOYEDOVA, Professor of Engineering Economics and Marketing Department, Don State Technical University. Candidate of Science in Economics (1976), Professor (2002). She graduated from the Automatic and Telematics Electrometers and Devices Faculty, Rostov Institute of Agricultural Engineering (1963).
Research interests: strategic planning, economic security.
Author of more than 200 scientific publications.

lmyasoedowa@yandex.ru

Evgeniya R. KHABIBULLINA, Senior Lecturer of the Engineering Economics and Marketing Department, Don State Technical University. She graduated from the Engineering Technology Faculty (2004) and the Humanities Faculty (2007), Don State Technical University.
Research interests: strategic planning, economic security.
Author of 4 scientific publications.

Geniahab@mail.ru

УДК 33:502 (470.61)

А.Е. САФРОНОВ

МЕХАНИЗМЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ ЭКОЛОГИЗАЦИИ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕГИОНА

Раскрывается механизм регионального регулирования экологизации хозяйственной деятельности промышленных предприятий в условиях трансформации. Рассмотрены методы экономики природопользования, разработанные как отечественными, так и зарубежными исследователями.
Ключевые слова: *окружающая среда, экологизация, экономические инструменты, экономика природопользования.*

Введение. Жизнедеятельность общества связана с постоянным ростом потребления природных ресурсов, что привело к экологическим проблемам. Сегодня ученые всего мира всерьез обеспокоены современным состоянием экологии, основным признаком которого стало резкое качественное изменение биосферы за последние годы.

Кризисное состояние экологии во многом обусловлено влиянием антропогенного фактора. Создавая общественные блага, в процессе трудовой деятельности человечество сегодня наносит огромный экологический ущерб, экономическая оценка которого постоянно возрастает.

Труд, который стал основой эволюции человека, может разрушить среду его обитания. Результаты труда без достаточного учета экологических факторов снижают ценность труда, порождая новые экологические проблемы.

«Экологическая проблема поставила человечество перед выбором дальнейшего пути развития: быть ли ему по-прежнему ориентированным на безграничный рост производства или этот рост должен быть согласован с реальными возможностями природной среды и человеческого организма, соразмерен не только с ближайшими, но и с отдельными целями социального развития» [1, с. 8].

Необходимость экологизации общественного развития становится сегодня основным условием выживания человечества и приводит к изменению экономического мышления, пересмотру роли экономических знаний в ряде научных дисциплин.

Возникающие в процессе производственно-хозяйственной деятельности противоречия между экономическими интересами их участников и экологическим состоянием природно-хозяйственных систем могут быть успешно разрешены или достаточно эффективно сглажены в случае активизации вмешательства государственных органов управления и общественности в процесс реструктуризации производственной сферы и создания при этом эффективного механизма экономического регулирования экологического развития, что является достаточно сложной задачей.

Экологизация хозяйственной деятельности. Экологизация хозяйственной деятельности развивается на основе государственного экологического регулирования. Экологизация хозяйственной деятельности традиционно понимается как воздействие на субъекты хозяйствования органов управления (федерального, регионального и местного уровня) с целью уменьшения их негативного влияния на окружающую природную среду на основе комплексного использования механизмов централизованного планирования, стимулирующего регулирования и рыночного саморегулирования.

Выделяют три типа экономических механизмов регулирования: «стимулирующий» (с преобладанием рыночных инструментов и созданием благоприятной экономической среды для развития экологически чистых производств и других видов деятельности в экосфере), «жесткий» (с использованием административных и финансово-экономических инструментов принуждения и подавлением посредством жесткой налоговой политики развития экологически опасных отраслей) и «мягкий» (с установлением либеральных ограничительных экологических рамок, относительно слабо влияющих на темпы и масштабы экологического развития). В настоящее время в России сформировался «мягкий» механизм регулирования [1, с. 254].

Экологическое регулирование хозяйственной деятельности осуществляется с использованием таких методов, как нормирование качества окружающей среды и отдельных воздействий на

окружающую среду (национальные и местные стандарты), прямое регулирование хозяйственной деятельности (экологическая экспертиза, лицензирование производства, контроль выпускаемой продукции), а также разнообразные ограничения и нормы, связанные с производственной деятельностью.

Эти меры служат главными инструментами реализации экологической политики и наиболее значимыми каналами воздействия на хозяйственную деятельность, постоянно дополняющимися новыми экономическими рычагами [2, с. 27]. Основным инструментом рыночного механизма является плата за загрязнение, идея которой – создание дополнительных стимулов борьбы с загрязнением, в противовес мерам, регулирующим объемы загрязнений. Важно отметить, что рыночные стимулы не подменяют собой стандарты, а основываются на достижении нормативных уровней загрязнения.

Международные стандарты ИСО серии 14000 по управлению окружающей средой предназначены для того, чтобы предприятия смогли сформулировать требования к элементам своих систем управления окружающей средой, которые должны быть эффективно интегрированы с другими требованиями по управлению.

Несомненно, система управления окружающей средой, требования к которой содержатся в этих стандартах, помогает предприятию достичь поставленных целей, как направленных на охрану окружающей среды, так и в экономике. Система такого вида дает возможность предприятию устанавливать и оценивать эффективность политики в области окружающей среды, достигать соответствия избранным целям и демонстрировать это соответствие другим, обеспечивает поддержку мероприятий по защите окружающей среды и предотвращению загрязнения, сбалансированных с социально-экономическими нуждами предприятия.

Внедрение системы управления окружающей средой означает, что решаются многие вопросы, включая те, которые имеют стратегическое значение и связаны с конкурентной борьбой.

В соответствии с действующими нормативно-правовыми документами экономический механизм охраны окружающей среды России включает как поощрительные элементы (позитивная мотивация), так и инструменты принуждения (негативная мотивация).

Наиболее широкое распространение в управлении охраной окружающей среды получили экологические платежи и налоги, а также штрафы за экологические правонарушения и иски о возмещении вреда, причиненного окружающей среде. Ограниченное распространение имеет: льготное налогообложение деятельности в области охраны окружающей среды, льготное кредитование, гарантирование кредитов, субсидирование процентных ставок по кредитам и т.п.

Часть экономических инструментов экологического управления, предусмотренных российским законодательством, до сих пор применяется в крайне ограниченных масштабах. Основу экономического механизма охраны окружающей среды в России сейчас составляют экологические платежи и в меньшей степени – экономические санкции за экологические правонарушения.

Государственное управление в области природопользования и охраны окружающей природной среды базируется на системе законодательных и иных правовых актов, состоящей из более 30 федеральных законов и около 200 подзаконных актов.

В последнее время в России экологическое законодательство пополнилось следующими федеральными законами и постановлениями правительства: Земельным Кодексом РФ; Водным Кодексом РФ; Лесным Кодексом РФ; федеральными законами «Об охране окружающей среды», «Об отходах производства и потребления», «Об экологической экспертизе», «О животном мире»; постановлением Правительства РФ «Об утверждении порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия» и др.

Действующие в Российской Федерации природоохранные нормы и правила содержатся более чем в 800 различных документах, 80 % из них имеет лишь рекомендательный характер. При этом большинство существующих экологических нормативов носят выраженную технологическую направленность и к экологической оценке качества окружающей среды имеют только косвенное отношение, а их существенная часть утратила свою значимость в современных условиях, т.е. устарела.

Сегодня продолжается совершенствование законодательной, нормативной, правовой и методической базы в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безо-

пасности в соответствии с требованиями федеральных законов «Об использовании атомной энергии», «О специальных экологических программах реабилитации радиационно-загрязненных участков территории», «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами», «О радиационной безопасности населения», «О техническом регулировании» и т.д.

В настоящее время Правительство РФ особое внимание уделяет мониторингу окружающей среды и экологическому контролю на основе постановлений Правительства РФ: «Об организации и осуществлении государственного мониторинга окружающей среды (государственного экологического мониторинга)»; «Об осуществлении государственного контроля в области охраны окружающей среды (государственного экологического контроля) (вместе с Правилами осуществления государственного контроля в области охраны окружающей среды)».

Однако экологический контроль не может быть эффективным без проявления гражданами экологической сознательности, для чего необходимо как со стороны правительства, так со стороны отдельных предприятий и граждан уделять большое внимание экологическому просвещению.

Правовое регулирование посредством нормирования допустимого воздействия на окружающую среду в Ростовской области осуществляется на основе федеральных законов: «Об охране окружающей среды»; «Об охране атмосферного воздуха»; «Об отходах производства и потребления», постановлений Правительства РФ: «О нормативах выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физических воздействий на него»; «О правилах разработки и утверждения нормативов образования отходов и лимитов на их размещение».

На основании действующего природоохранного законодательства индивидуальные предприниматели и юридические лица должны разработать «Проект нормативов образования отходов и лимитов на их размещение», паспорта опасных отходов. По утвержденному проекту выдаются лимиты на размещение отходов.

Юридические лица, имеющие стационарные источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, обязаны разработать «Проект нормативов предельно-допустимых выбросов». После утверждения проекта выдается разрешение на выброс загрязняющих веществ стационарными источниками загрязнения. Специалисты Ростехнадзора по ЮФО рассматривают материалы и готовят к утверждению нормативы предельно допустимых выбросов, лимиты на размещение отходов, оформляют и выдают разрешения на выбросы (для объектов хозяйственной и иной деятельности, подлежащих федеральному государственному экологическому контролю) и сбросы загрязняющих веществ в окружающую среду, лимиты на размещение отходов.

Во исполнение федерального закона «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» и в целях совершенствования единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций Правительство Российской Федерации постановлением утвердило «Положение о единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций».

Система, состоящая из функциональных и территориальных подсистем, действует на федеральном, региональном, территориальном, местном уровнях, а также на уровне отдельного объекта. Функциональные подсистемы создаются федеральными органами исполнительной власти для организации работы в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций в сфере деятельности этих органов. Согласно постановлению Правительства Российской Федерации, Министерство природных ресурсов и экологии России (МПР) создает функциональные подсистемы: экологической безопасности; экологического мониторинга (совместно с Росгидрометом); наблюдения и контроля за уровнем радиоактивного загрязнения подземных вод; противопаводковых мероприятий и безопасности гидротехнических сооружений, находящихся в ведении МПР России; защиты лесов от пожаров, болезней и вредителей лесной растительности.

В системе стимулирующих воздействий на экологизацию производства, на наш взгляд, существенную роль должны играть налоговая и кредитная политика, рыночные методы природоохранной деятельности. В частности, представляется целесообразным развитие льготного налогообложения экологичных видов продукции и услуг с одновременной компенсацией соответствующих потерь бюджетных поступлений за счет введения дополнительных налогов на экологически опасные товары и изделия.

В 2007 г. фактические поступления в консолидированный бюджет Российской Федерации платы за негативное воздействие на окружающую среду составили 16,9 млрд руб., что на 12,8 %

больше, чем предусмотрено федеральным бюджетом. При этом поступления в федеральный бюджет составили 3,4 млрд руб., в бюджеты субъектов Российской Федерации – 13,5 млрд руб.

Основная масса администрируемых ФНС России доходов федерального бюджета обеспечена поступлениями налога на добычу полезных ископаемых, НДС и налога на прибыль [3, с. 57]. В структуре федерального бюджета основная доля всех природно-ресурсных платежей (99 %) приходится на платежи в сфере недропользования.

Налог на добычу полезных ископаемых (НДПИ) в 2008 г. поступил в федеральный бюджет в размере 1 604,7 млрд. руб., в том числе на добычу нефти – 1 493,0 млрд руб., добычу газа горючего природного – 90,5 млрд руб.; добычу газового конденсата из всех видов месторождений – 8,4 млрд руб. По сравнению с 2007 г. поступления НДПИ выросли на 42,9 %. В 2009 г. объем НДПИ составил 806,1 млрд руб. или 10,8 % доходов [3, с. 58].

В связи с тем, что нефть и газовый конденсат залегает неравномерно по территории России, Министерство финансов с 2010 г. централизовало доходы от уплаты НДПИ по нефти и газовому конденсату в федеральный бюджет. Согласно макроэкономическому прогнозу на 2010–2012 гг., это приведет к росту доходов бюджета РФ в 2010 г. на 46,5 млрд руб., в 2011 г. – на 50,9 млрд руб., в 2012 г. – на 55 млрд руб. В тех регионах, куда поступал НДПИ по нефти и газовому конденсату, ожидается выделение дотаций для обеспечения сбалансированности их бюджетов. По предполагаемым информационным данным, частичная компенсация выпадающих доходов для субъектов РФ в 2010 г. запланирована в объеме 60 % от прогнозных поступлений 2010 г., в 2011 г. – 40 %, в 2012 г. – 20 %. Согласно данным, приведенным в РИА «Новости», общая сумма дотаций субъектам РФ за три года (за исключением Тюменской области) должна составить 17,965 млрд руб.: в 2010 г. – 9,982 млрд руб., в 2011 г. – 2,988 млрд руб., в 2012 г. – 2,994 млрд руб. [4].

Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору был утвержден план по сбору платы за негативное воздействие на окружающую среду в 2008 г. Для Ростехнадзора по ЮФО (Ростовская область) было запланировано поступление платы за негативное воздействие на окружающую среду в 2008 г. в сумме 300000 тыс. руб. [3, с. 56]. По данным Управления Федерального казначейства по Ростовской области, по состоянию на 31.12.2008 г. по данному виду платежа в бюджеты всех уровней поступило 408528,2 тыс. руб., что составляет 136,2 % от установленного плана [3, с. 56].

Из общей суммы поступивших платежей 39 % составляет плата за негативное воздействие на окружающую среду в пределах установленных нормативов (лимитов), 61 % – плата за превышение нормативов (лимитов) [3, с. 57]. Плата за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух составляет 7,6 % от общей суммы, за сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты – 10,2 %, за размещение отходов производства и потребления – 82,2 %. [3, с. 57]

По состоянию на 31.12.2008 г. в МТУ Ростехнадзора по ЮФО, в базе по плате за негативное воздействие на окружающую среду состоят 18 800 юридических лиц и индивидуальных предпринимателей [3, с. 57].

Принцип «фискальной нейтральности» должен выполняться на базе перечня поправочных коэффициентов к действующим и вводимым налогам. Основой для подобного перечня может послужить система сертификации и стандартизации продукции и услуг по экологическому признаку.

Экологизация кредитной политики должна основываться на принципе «кредитной нейтральности», который предполагает экономические санкции в виде повышенного процента за кредитование экологически грязных предприятий, что позволит компенсировать льготное кредитование экологически чистых.

Формирование рынков экологически чистых технологий и продукции, оборудования и услуг сопряжено с комплексом организационно-экономических и административных мер. Так, стимулирование выпуска экологически чистой продукции зависит, прежде всего, от полноты учета экологического фактора в различных экономических показателях.

Мы считаем, что отмеченные выше мероприятия позволят, во-первых, повысить конкурентоспособность экологически чистых производств и продуктов и, во-вторых, исключить экологически грязные товары из совокупности предпочитаемых потребителями продуктов.

Кроме этого, приобретает большое значение аттестация технологий и производств на соответствие требованиям экологизации производства, естественно, что требует от предприятий проведения мероприятий не только технологического, но и организационного характера (достижение высокого уровня технологической дисциплины, повышение уровня мотивации труда работников и др.), постоянного повышения уровня квалификации кадров и др.

В законе «Об охране окружающей среды» (ст. 14) предусмотрены налоговые льготы, но на практике они фактически не применяются в силу того, что нет четко установленного механизма их действия.

В качестве альтернативного или дополняющего элемента экономического механизма охраны окружающей среды к системе экологических платежей и экологических фондов может быть предложен такой инструмент, как торговля квотами на выбросы загрязнений, который успешно используется Агентством по охране окружающей среды США.

Экосистема России, по мнению Яницкого О.Н., по крайней мере, дважды, в 1991–1992 и 1998 гг., была на грани разрушения и распада [5, с. 29]. Государство не функционировало как интегрирующая сила. Производство, в особенности в таком для России системообразующем секторе, как военно-промышленный комплекс, сократилось более чем вдвое. Все экономические и социальные связи были нарушены, но экосистема устояла за счет снижения ее социального качества.

Деэкологизацию обычно понимают как деинституционализацию государственной системы охраны природы, понижение природоохранных целей на шкале национальных приоритетов. Этот процесс действительно имеет место. Достаточно вспомнить снижение статуса ведомств, отвечающих за охрану окружающей среды.

Однако деэкологизация не сводится к делу охраны природы. Частная собственность и рыночное хозяйство, ориентированные на минимизацию издержек производства и максимизацию прибыли, в принципе, противостоят территориальной самоорганизации общества на всех уровнях. Капитал, где бы он ни был, «самоорганизуется» только в собственных интересах и только за счет «среды», будь это ресурсы природы или социальный капитал общества. Поэтому в большинстве развитых стран эгоистическому «саморегулированию» капитала противопоставляют государственное регулирование, местное самоуправление и публичный контроль. Борьба частного интереса и общественного контроля продолжается с переменным успехом, однако даже с появлением на мировой арене транснациональных корпораций, которые стремятся защитить свои экосистемы, переложив бремя грязных производств и хранение отходов на «плечи» более слабых стран, в том числе и на Россию, проблема сохраняет свою актуальность.

Среди экономических инструментов охраны окружающей среды особо следует отметить амортизационную политику в отношении основных производственных фондов природоохранного назначения. Повышенные норм амортизации природоохранных фондов было предусмотрено законом «Об охране окружающей природной среды» (ст. 24), однако в последней редакции действующего закона «Об охране окружающей среды» ускоренная амортизация очистных сооружений и природоохранного оборудования не предусматривается, что препятствует увеличению возможностей обновления природоохранных фондов и резко ухудшает обеспеченность предприятий даже действующими мощностями природоохранного назначения.

В промышленности ежегодно ведется работа по уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу: совершенствование технологических процессов, ввод в эксплуатацию новых очистных установок, повышение эффективности действующих очистных установок, ликвидация источников загрязнения, работы по перепрофилированию цехов, участков. В последнее время Госкомстатом России зафиксировано 3,4 тыс. мероприятий (из 4,1 тыс. запланированных) [4]. В результате указанных мероприятий объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу снизились на 212,9 тыс. т, при этом всеми источниками финансирования затрачено 4,95 млрд руб. Таким образом, на снижение выбросов загрязняющих веществ на тонну израсходовано 23,3 тыс. руб. Следует отметить, что было запланировано использовать 9,6 млрд руб. с ожидаемым эффектом снижения выбросов 420 тыс. т, т.е. 22,9 тыс. руб. на тонну [4].

Принципиальными основами реформирования экологизации являются рентный подход при определении размеров платежей и обеспечение снижения налогового бремени в отношении обрабатывающих отраслей за счет налоговой нагрузки на сырьевой сектор экономики.

Особое внимание МПР России уделяет вопросам развития системы страхования в области природопользования и охраны окружающей среды.

В арсенале методов экономики природопользования, разработанных зарубежными исследователями, имеется немало таких, которые могут быть эффективно использованы для управления любой территориально-производственной системой в условиях трансформации.

К подобным методам, например, относится региональное программирование как высшая форма проведения региональной социальной политики в развитых странах, комплексное использование (целым блоком) современных социальных технологий.

Заключение. «Мягкий» тип экономического регулирования экологизации с установлением либеральных ограничительных экологических границ, относительно слабо влияющих на темпы и масштабы экологического развития в условиях углубляющегося экологического кризиса, не совсем оправдан. Сегодня требуется использование комплексного подхода, который, с одной стороны, требует усиления роли государства в сфере экологизации экономики, а с другой стороны, позволил бы общественным экологическим организациям, предприятиям, отдельным гражданам принимать участие в процессе управления экологическим развитием России. При этом необходимо учитывать, что система экологического менеджмента управления от государственного до уровня управления отдельным предприятием может эффективно функционировать, только когда государство прилагает необходимые усилия по формированию эффективного экономического механизма охраны окружающей среды, включающий следующие основные элементы: современные концепции охраны окружающей среды (концепция устойчивого экономического развития), методологические принципы экономического регулирования охраны окружающей среды, методы экономического регулирования в области охраны окружающей среды, экономические инструменты и методики социально полезного взаимодействия с природной средой.

Сегодня следует обратить особое внимание на следующие экономические инструменты экономического регулирования экологии: установление объективной платы за загрязнение окружающей среды (частично учитывающей экстернальные издержки), изменение амортизационной политики в отношении производственных фондов природоохранного назначения, формирование систем экологического менеджмента на отдельных предприятиях в соответствии с международными стандартами, введение льготного налогообложения для экологически чистой продукции (или введение налоговых коэффициентов по результатам стандартизации продукции по экологическому признаку) и дополнительных налогов для экологически опасной продукции, организация общественного экологического контроля, аттестация технологий и производств на соответствие требованиям экологизации, торговля квотами на загрязнения, совершенствование экологического страхования, региональное программирование и др.

При формировании экономического механизма регулирования экологического развития необходимо большое внимание уделить методам позитивной мотивации охраны окружающей среды, что требует существенного изменения нормативно-правовой базы.

Библиографический список

1. Гирусов Е.В. Экология и экономика природопользования: учебник для вуов / Е.В. Гирусов, С.Н. Бобылев, А.Л. Новоселов; под ред. проф. Э.В. Гирусова; пред. д-ра эконом. наук, пред. Госкомэкологии РФ В.И. Данилова-Данильяна. – М.: Закон и право, ЮНИТИ, 1998. – 455 с.

2. Савон Д.Ю. Региональное развитие процесса экологизации производственной сферы / Д.Ю. Савон. – М.: Изд-во МГУ, 2008. – 120 с.

3. Назарова С.М. О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2008 году / С.М. Назарова и др. // Эколог. вестн. Дона. – 2009. – № 3. – 78 с.

4. Горбатецкий Е.И. Актуальные проблемы региональной экономики / Е.И. Горбатецкий // Лента новостей «РИА новости». – 2009. – Режим доступа: http: www.rian.ru/economy.

5. Яницкий О.Н. Экологическое движение в «переходном» обществе: проблемы, теории / О.Н. Яницкий. – М.: СОЦИС, 1998. – № 10. – 340 с.

References

1. Girusov E.V. Ekologiya i ekonomika prirodopol'zovaniya: uchebnik dlya vuov / E.V. Girusov, S.N. Bobylev, A.L. Novoselov; pod red. prof. E.V. Girusova; predislovie d-ra ekonom. nauk, predsedatelya Goskomekologii RF V.I. Danilova-Danil'yana. – M.: Zakon i pravo, YuNITI, 1998. – 455 s. – in Russian.
2. Savon D.Yu. Regional'noe razvitie processa ekologizacii proizvodstvennoi sfery/ D.Yu. Savon. – M.: Izd-vo MGU, 2008. – 120 s. – in Russian.
3. Nazarova S.M. O sostoyanii okrujayuschei sredy i prirodnyh resursov Rostovskoi oblasti v 2008 godu / S.M. Nazarova i dr. // Ekolog. vestn. Dona. – 2009. – № 3. – 78 s. – in Russian.
4. Gorbateckii E.I. Aktual'nye problemy regional'noi ekonomiki / E.I. Gorbateckii // Lenta novostei «RIA novosti». – 2009. – http: www.rian.ru/economy. – in Russian.
5. Yanickii O.N. Ekologicheskoe dvijenie v «perehodnom» obschestve: problemy, teorii / O.N. Yanickii. – M.: SOCIS, 1998. – № 10. – 340 s. – in Russian.

Материал поступил в редакцию 04.06.10.

A.E. SAFRONOV

STATE CONTROL MECHANISMS OF THE REGION INDUSTRIAL ENTERPRISES BUSINESS PROCESSES ECOLOGIZATION

Mechanism of the regional control of the industrial enterprises business processes ecologization under transformation conditions. Methods of environmental economics developed by both Russian and foreign scientists are examined.

Key words: environment, ecologization, economic instruments, environmental economics.

САФРОНОВ Андрей Евгеньевич (р. 1972), доцент кафедры «Инженерная экономика и маркетинг» Донского государственного технического университета, кандидат экономических наук (1999), доцент (2004). Окончил факультет автоматизации и робототехники Ростовской-на-Дону государственной академии сельскохозяйственного машиностроения (1995).
Область научных интересов: экономика природопользования.
Автор 65 публикаций.

rgashm@mail.ru

Andrey E. SAFRONOV (1972), Associate Professor of the Engineering Economics and Marketing Department, Don State Technical University. Candidate of Science in Economics (1999), Associate Professor (2004). He graduated from the Automation and Robotics Faculty, Rostov State Agricultural Engineering Academy.
Research interests: environmental economics.
Author of 65 scientific publications.

rgashm@mail.ru

УДК 33:005.5:339.138:62

Т.П. ЛЮБАНОВА, Д.М. ЗОЗУЛЯ

ИНТЕГРИРОВАННАЯ МЕТРИКА КОМПЛЕКСА ИНЖЕНЕРНОГО МАРКЕТИНГА КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Предложена новая парадигма инженерного маркетинга с соответствующим инструментарием его реализации в инженерной деятельности. Рассмотрен комплекс инженерного маркетинга как набор переменных, которые необходимо использовать в совокупности для повышения эффективности инженерной деятельности; бизнес-модель инженерного маркетинга, реализованная с помощью психоэвристического программирования.

Ключевые слова: *инженерный маркетинг, комплекс инженерного маркетинга, интегрированная метрика, бизнес-модель инженерного маркетинга.*

Введение. В рыночных условиях хозяйствования одним из основных направлений, способствующих повышению инновационной активности, конкурентоспособности машиностроительных предприятий является создание механизма инженерного маркетинга, призванного существенно повысить эффективность инженерной деятельности. Инженерный маркетинг – это новая парадигма маркетинга, определяющая соответствующие требования к инженерным кадрам. В условиях рынка они должны быть генератором прогресса как во внутренней среде (синтезируя через инженерные решения технические возможности предприятия и рыночные потребности), так и во внешней (привлекая потребителей и партнеров к разработке и адаптации товаров и услуг к изменяющимся внешним условиям).

Концепция инженерного маркетинга – это философия управления научно-техническими нововведениями на всех стадиях инженерной деятельности (НИОКР, производство, сбытовая сфера) на основе маркетингового мышления и маркетинговой идеологии. Переход на инновационный путь развития в процессе модернизации экономики предполагает расширение и углубление знаний и умений инженерного персонала при решении вопросов устойчивого, конкурентоспособного развития на инновационной основе, для чего необходим маркетинго-ориенти-рованный подход к решению всех возникающих научно-технических, организационных, производственных и социальных задач. Инженер, опираясь на маркетинг как инструмент адаптации к требованиям современности и необходимости обеспечения резервов для опережающего развития в условиях непрерывно усиливающейся конкуренции, должен рассматривать определенные инженерные решения с точки зрения уникальности, лидерства, ценности для потребителя, возможности выбора модификации и т.д. В результате инженерный маркетинг становится неотъемлемой функцией предприятия, связанной с проектированием, производством и реализацией продукции и послепродажных услуг через расширенный комплекс соответствующих рыночных инструментов.

Понятие «комплекс маркетинга» или «маркетинг микс» используется более 60 лет для обозначения набора переменных, которыми компания может особым образом управлять. Представляется, что комплекс маркетинга (*marketing mix*) должен содержать элементы, которые необходимо использовать в совокупности (*mix together*), особенно при оптимизации ограниченных ресурсов для достижения целей маркетинга. За всю историю исследований в области маркетинга было выработано множество идей о том, какие элементы и для какого вида деятельности должен включать комплекс маркетинга, чтобы результаты его применения оказались максимально эффективными.

Джером Маккарти представил в 1960 г. универсальную концепцию комплекса маркетинга, состоящего из четырех основных элементов – *product, price, place, promotion*. Поскольку все эти элементы начинаются с буквы «р», концепция получила название 4P. Концепция Маккарти предполагает, что каждый элемент 4P можно представить как отдельный комплекс элементов: товарный, ценовой и др. (*product mix, price mix*). При этом Маккарти понимал комплекс маркетинга как набор факторов, на которые может влиять маркетолог для удовлетворения целевого рынка. Позднее ученый пересмотрел свое определение, уточнив, что комплекс маркетинга представляет собой ряд контролируемых переменных, которыми организация может управлять для удовлетворения целевого рынка. Положительным моментом своей концепции Маккарти справедливо считал

простоту понимания и адаптацию комплекса маркетинга к требованиям рынка. Также Маккарти полагал, что маркетологам необходимо на практике использовать четыре переменных комплекса маркетинга для приспособления маркетинговой стратегии к условиям рынка и реализации маркетингового планирования [1].

Несмотря на то, что концепция комплекса маркетинга 4P быстро стала стандартом, она часто подвергалась критике различными учеными, которые стремились предложить свое видение или добавить новые к традиционным элементам комплекса маркетинга 4P.

Доктор Кристиан Гренроос, преподаватель маркетинга услуг и маркетинга взаимодействия в Школе экономики Швеции, а также исполнительный директор Центра исследований в области маркетинга услуг и маркетинга взаимодействия CERS, дал существенную развернутую критику традиционного комплекса маркетинга. В соответствии с его позицией комплекс маркетинга 4P не может соответствовать требованиям рынка, так как не предусматривает ориентации на потребителя, нет ответов на вопросы: «Кому» или «Для кого». Концепция 4P основана на неопределенной теоретической базе, так как критерии классификации каждого из 4P не были сформулированы или определены, отсутствуют соответствующие маркетинговые понятия.

По результатам выявленных недостатков концепции 4P Гренроос предположил, что в данном случае комплекс маркетинга означает, что маркетинговая активность будет наблюдаться только в отделе маркетинга, а ответственность других отделов будет снижаться; на предприятии разовьется изоляция маркетинга от процессов производства, упаковки, доставки (именно в данном процессе производственники, продавцы, технические специалисты контактируют с потребителями) и т.д. Следовательно, снижается вероятность того, что деятельность компании будет ориентирована на рынок, при этом отдел маркетинга отдалится от потребителей.

Для преодоления указанных негативных моментов Гренроос представил концепцию маркетинга взаимодействия (*relationship marketing*) вместо концепции комплекса маркетинга [2].

Компонентами комплекса маркетинга взаимодействия Гренроос называет следующие элементы: высокое качество товара/услуги, служба работы с клиентами, гибкое ценообразование, открытость, диалог (рис.1).

Рис.1. Комплекс маркетинга взаимодействия (по К. Гренроосу)

Разнообразие подходов к набору переменных комплекса маркетинга объясняется тем, что концепция 4P часто не способна охватить все ресурсы, процессы и виды деятельности, которые сегодня возникают в ходе взаимодействия организации и потребителя, в силу следующих основных факторов:

– выделение определенных видов деятельности;
– изменение инфраструктуры информационных и Интернет-технологий;
– повышение благосостояния;
– либерализация и интеграция;
– рост конкуренции на глобальном уровне;
– ускорение темпов разработки и внедрения инноваций;
– изменение философии маркетинга и др.

Недостаточность модели 4P особенно характерна для промышленного маркетинга, маркетинга услуг, а также новых видов маркетинга: эко-маркетинг, е-маркетинг и др. Поэтому ученые, используя как стандарт модель 4P, расширяют ее таким образом, чтобы применяющие ее специалисты могли добиться максимально эффективных результатов в определенной области деятельности. Сводные данные по описанным моделям и подходам к составляющим комплекса маркетинга в зависимости от предполагаемой области применения представлены в табл.1.

Таблица 1

Сводные данные по моделям комплекса маркетинга

Автор	Комплекс маркетинга	Область применения
Н. Борден	12P	Производственный маркетинг
Дж. Маккарти	4P	Производственный маркетинг
А. Фрай	2 группы переменных	Производственный маркетинг
Ф. Котлер	4C, 5P, 7P	Производственный маркетинг
Никелс и Джонсон	5P	Производственный маркетинг
Бумс и Битнер (Рафик и Амд)	7P	Маркетинг услуг
К. Гренроос	5P	Маркетинг взаимодействия
Каланам и МакИнтайр	7 элементов	Электронный маркетинг
Н. Брэдли	8P	Экологический маркетинг
С. Константинидис	4S	Сетевой маркетинг
К. Петти	9P	Производственный маркетинг
Р. Джаткинс	9P	Маркетинг сбыта

Одним из эффективных направлений расширения модели 4P может стать комплекс инженерного маркетинга 9P, область применения которого – инженерная деятельность. Предлагаемый комплекс инженерного маркетинга концепции 9P предназначается для применения в инженерной деятельности (рис.2).

В этом аспекте логично использовать интегрированную метрику комплекса инженерного маркетинга как попытку теоретического синтеза и эмпирической апробации. Метрика (в переводе с греч.) – мера, размер, а интеграция – объединение в целое. Метрика предполагает измерение рыночной ценности инженерных решений через определение соответствующих инструментов маркетинга, а интегрированная метрика – рассмотрение их в комплексе.

1. People:
– контакт и знание потребителя;
– участие потребителя в производственной цепочке;
– персонификация потребителя (кастомизация)

2. Product:
– качество товара;
– разнообразие ассортимента товара;
– инновации в создании и реализации продукции;
– упаковка;
– промышленный дизайн

3. Production:
– прогрессивный способ производства;
– гибкость производства;
– научно-технические нововведения

4. Price:
– формирование цены на основе инженерных решений

5. Promotion:
– инженерные решения в продвижении;
– обеспечение технической составляющей продвижения

6. Public relations:
– создание имиджа предприятия;
– конкурентоспособность;
– участие инженеров в проведении *PR*-мероприятий

7. Place:
- организация и оснащение места продажи;
- сервисное обслуживание

8. Provider:
– доступ инженера к информации;
– использование БД;
– онлайн подключения, опросы, веб-сайты, сообщества

9. Processing:
– применение информационных технологий и систем в рыночно-ориентированной инженерной деятельности

Engineering Marketing Mix – 9P

Рис.2. Комплекс инженерного маркетинга

Составляющими комплекса маркетинга в аспекте инженерной деятельности являются *people, product, production, price, promotion, public relations, place, provider, processing.*

People – всемерная ориентация на потребителя, так как производителям выгоден всесторонний учет требований покупателей. Данный инструмент является важнейшим и ведущим элементом комплекса инженерного маркетинга 9Р, поскольку удовлетворить определенного потребителя способна именно инженерная составляющая, используя кастомизацию, персонификацию и соответствующим образом реагируя на изменения, происходящие на рынке.

Product – обеспечение разнообразия продукта, расширение номенклатуры и ассортимента возможно через инженерную составляющую (параметрические ряды – «*product–line*»), модификации, инновации, качественный и технический уровень, что, в конечном итоге, предполагает выбор товаров по каталогу.

Production – производство товаров и услуг, способ изготовления, ориентация на процесс и операции, новые технологии, так как инженер может более профессионально их отслеживать и выбирать соответствующее оборудование. При этом на первый план выходят вопросы гибкости процесса производства, творческие способности инженерных кадров, разработка инноваций.

Price – составляющая инженерного маркетинга, которая находится в тесной связи с используемыми технологиями и организацией производства. Стоимость материалов, оплата труда, накладные расходы во многом определяются технической составляющей, где инженерные решения играют решающую роль.

Promotion – продвижение товаров от производителя к потребителю с использованием инженерных решений, позволяющих осуществлять наиболее рациональное (с точки зрения технологии и затрат) продвижение товаров на рынке.

Public relations – создание «положительного образа предприятия в глазах общественности» (имиджа производителя) и репутации предприятия, что во многом определяется инженерной деятельностью, так как качество и технический уровень продукции являются важнейшими факторами престижа организации и создания соответствующего бренда.

Place – место продажи товара. Позиция инженерного маркетинга предусматривает техническую организацию и оснащение необходимым оборудованием места продажи. С учетом того, что бизнес многогранен, динамичен, необходима гибкая организация места производства и продажи продукции/услуг.

Provider – получение доступа к Интернет-ресурсам, создание банка и базы данных расширяет возможность глобального выбора поставщиков и отслеживания конкурентов, сокращает время на поиск партнеров, проведение различного рода сделок, поиск информации об инновациях и содействует тем самым повышению конкурентоспособности и улучшению имиджа.

Processing – обработка данных, предусматривающая применение информационных технологий и систем в инженерной деятельности. Например, планирование ресурсов предприятия, ориентированное на потребителя в системе *CSRP* (*customer synchronized resource planning*), основанной на интеграции конкретных запросов потребителя в процесс планирования производства. Планирование ассортимента выпускаемой продукции и графика производства осуществляется на основе заявок потребителей, размещенных в информационной системе поставщика. В результате применения *CSRP* повышается качество продукции, сокращается время поставок, снижаются производственные издержки, увеличивается потребительская ценность и достигается координация действий производителя и потребителя, что обеспечивает устойчивую конкурентоспособность производства.

Рассматривая комплекс инженерного маркетинга, включающий большое количество переменных, целесообразно показать их влияние на результативные показатели функционирования предприятия. В этом аспекте создается бизнес-модель инженерного маркетинга, направленная на системное использование комплекса инженерного маркетинга для достижения целей предприятия с помощью инженерных решений и предполагающая маркетинговое видение у инженеров и их возможное взаимодействие с маркетологами промышленного предприятия.

Бизнес-модель инженерного маркетинга ориентирована на получение конкурентоспособной продукции и для потребителя, и для предприятия с использованием научно-технических нововведений во всех сферах деятельности. Конкурентоспособность продукции и предприятия зависят от маркетинговой идеологии инженеров всех уровней, т.е. можно предположить, что инновационный потенциал предприятия во многом определяется рыночными знаниями инженеров предприятия.

Предлагается авторская бизнес-модель инженерного маркетинга (рис.3).

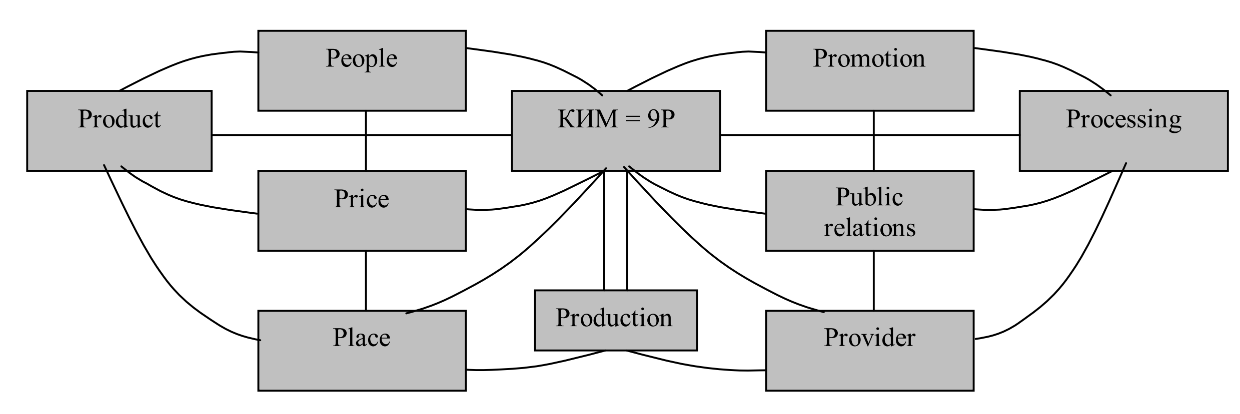


Рис.3. Бизнес-модель инженерного маркетинга

Для реализации бизнес-модели инженерного маркетинга используются методы психоэвристического программирования на основе адаптированной системы *Expert Choice* (ExC) (рис.4), что позволяет в ускоренном режиме времени и с максимальной простотой и эффективно производить анализ различных ситуаций и выбор вариантов.

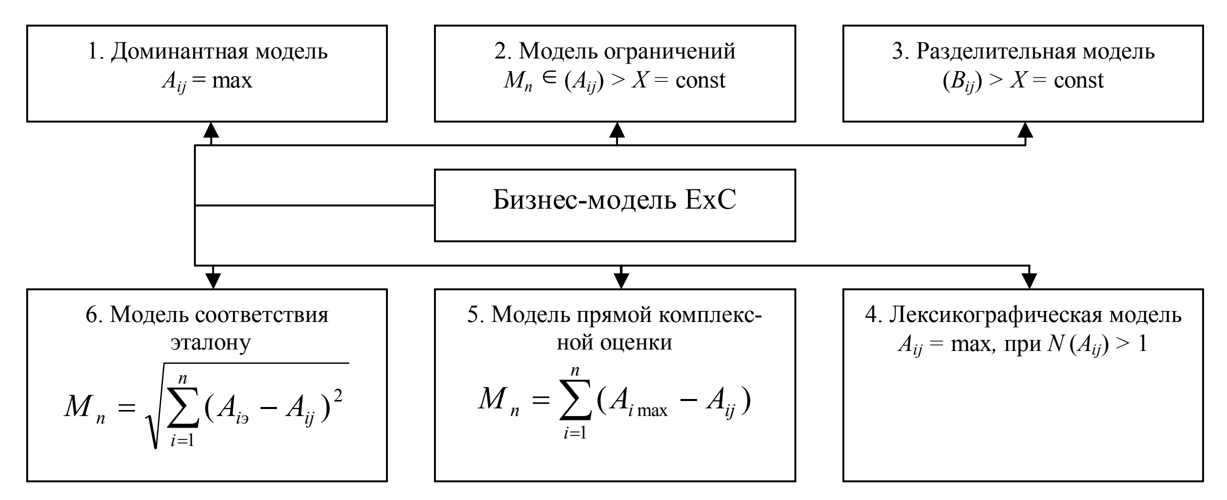


Рис.4. Бизнес-модель психоэвристического программирования ExC

Используя модели ExC, можно производить экспертную оценку по одному или группе критериев, рассмотреть все модели экспертных оценок или две-три схемы, которые разработчик считает приемлемыми в конкретной ситуации.

Например, система ExC реализована на одном из промышленных предприятии в целом согласно бизнес-модели и отдельным инструментам комплекса инженерного маркетинга. Рассмотрена продукция исследуемого предприятия, содержащая ряд модулей и устройств. Для комплектации продукции, в наибольшей степени удовлетворяющей потребителя, необходимы соответствующие инженерные решения по выбору тех или иных компонентов устройств. Для этого использованы три модели психоэвристического программирования (доминантная, разделительная и модель прямой комплексной оценки) для выбора варианта интерфейсного модуля (табл.2) и комплектации устройства пеленгования на этапе разработки товара через совершенствование маркетингового инструментария: *product*, *production*.

Таблица 2*

Оценки качества интерфейсных модулей
для комплектации устройства пеленгования, балл

Устройство	Конфигурация функций	Простота монтажа	Параметры корпуса	Соответствие пеленгатору
Модуль интерфейсный, вариант 1, M_1	8	8	10	8
Модуль интерфейсный, вариант 2, M_2	9	8	9	7
Модуль интерфейсный, вариант 3, M_3	7	9	10	9
Модуль интерфейсный, вариант 4, M_4	8	9	9	8
Модуль интерфейсный, вариант 5, M_5	7	9	9	8

1. Доминантная модель. Доминантной характеристикой при выборе варианта интерфейсного модуля является параметр «Соответствие пеленгатору». Тогда: A_{ij} = max = 9.

При выборе интерфейсного модуля по доминантной характеристике следует отдать предпочтение модулю M_3, так как он обладает максимальным значением признака «Соответствие пеленгатору» – 9 баллов.

2. Разделительная модель при исключении из рассмотрения признака «Простота монтажа» предусматривает следующие ограничения:

– конфигурация функций – ≥ 7 (подходят модули M_1 (8>7), M_2 (9>7), M_3 (7≥7), M_4 (8>7), M_5 (7≥7));

– параметры корпуса – 10, подходят модули M_1 (10=10), M_3 (10=10);

– соответствие пеленгатору – ≥ 8, подходят модули M_1 (8≥8), M_3 (9>8), M_4 (8≥8), M_5 (8≥8).

На основе разделительной модели экспертных оценок можно сделать вывод, что наиболее подходящими интерфейсными модулями для комплектации устройства пеленгования будут модули M_1 и M_3, поскольку они полностью соответствуют ограничениям при исключении из рассмотрения признака «Простота монтажа».

* Составлена авторами и инженерами-экспертами исследуемого предприятия

3. Модель прямой комплексной оценки используется для окончательного выбора на основе расчета оценки для всех вариантов рассматриваемой ситуации.

$$\text{M}_1 = \sum_{i=1}^{n}(A_{i\max} - A_{ij}) = (9-8)+(9-8)+(10-10)+(9-8) = 3,$$

$$\text{M}_2 = \sum_{i=1}^{n}(A_{i\max} - A_{ij}) = (9-9)+(9-8)+(10-9)+(9-7) = 4,$$

$$\text{M}_3 = \sum_{i=1}^{n}(A_{i\max} - A_{ij}) = (9-7)+(9-9)+(10-10)+(9-9) = 2,$$

$$\text{M}_4 = \sum_{i=1}^{n}(A_{i\max} - A_{ij}) = (9-8)+(9-9)+(10-9)+(9-8) = 3,$$

$$\text{M}_5 = \sum_{i=1}^{n}(A_{i\max} - A_{ij}) = (9-7)+(9-9)+(10-9)+(9-8) = 4.$$

В соответствии с моделью прямой комплексной оценки интерфейсных модулей наиболее предпочтительный из них вариант 3 – M_3, поскольку для его признаков характерно минимальное суммарное отклонение от максимального значения каждого признака, равное 2.

Следовательно, во всех рассмотренных моделях наиболее предпочтительным вариантом интерфейсного модуля является модуль M_3. В соответствии с оценками экспертов, именно его следует рекомендовать для исследуемого предприятия.

Для эффективной реализации бизнес-модели инженерного маркетинга можно использовать методы психоэвристического программирования при принятии различных рыночно-ориентированных инженерных решений.

Выводы. Концепция инженерного маркетинга, а также использование комплекса инженерного маркетинга для обеспечения рыночной ориентации инженерных решений будут способствовать созданию, производству и реализации конкурентоспособной продукции на инновационной основе и, соответственно, повысят эффективность инженерной деятельности.

Библиографический список

1. McCarthy J. Basic Marketing: A managerial approach, 13th ed. – Irwin, Homewood, 2001. – 734 p.

2. Гренроос К. Маркетинг взаимодействия: диапазон стратегий / К. Гренроос. – М.: Инфра-М, 2006. – 25 с.

3. Котлер Ф. Маркетинг-менеджмент: экспресс-курс / Ф. Котлер: 2-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 896 с.

4. Любанова Т.П. Сборник бизнес-планов. Методика и примеры: предпринимательская деятельность, экономическое обоснование инженерных решений в курсовом, дипломном проектировании, диссертационных работах: учеб. и науч.-практ. пособие / Т.П. Любанова, Л.В. Мясоедова, Ю.А. Олейникова; под ред. Л.В. Мясоедовой. – М.; Ростов н/Д: ИКЦ МарТ, 2008. – 408 с.

5. Малых В.В. Современные методы практического маркетинга: стратегии, прикладные методы, тренинги и практикум / В.В. Малых. – М.: МПСИ НПО МОДЭК, 2008. – 232 с.

6. Borden N.H. The Concept of the Marketing Mix // Journal of Advertising Research. – 1964. – Vol. 4. – 14 p.

References

1. McCarthy J. Basic Marketing: A managerial approach, 13th ed. – Irwin, Homewood, 2001. – 734 p.

2. Grenroos K. Marketing vzaimodeistviya: diapazon strategii / K. Grenroos. – M.: Infra-M, 2006. – 25 s. – in Russian.

3. Kotler F. Marketing-menedjment: ekspress-kurs / F. Kotler: 2-e izd. – SPb.: Piter, 2006. – 896 s. – in Russian.

4. Lyubanova T.P. Sbornik biznes-planov. Metodika i primery: predprinimatel'skaya deyatel'nost', ekonomicheskoe obosnovanie injenernyh reshenii v kursovom, diplomnom proektirovanii, dissertacionnyh rabotah: ucheb. i nauch.-prakt. posobie / T.P. Lyubanova, L.V. Myasoedova, Yu.A. Oleinikova; pod red. L.V. Myasoedovoi. – M.; Rostov n/D: IKC MarT, 2008. – 408 s. – in Russian.

5. Malyh V.V. Sovremennye metody prakticheskogo marketinga: strategii, prikladnye metody, treningi i praktikum / V.V. Malyh. – M.: MPSI NPO MODEK, 2008. – 232 s. – in Russian.

6. Borden N.H. The Concept of the Marketing Mix // Journal of Advertising Research. – 1964. – Vol. 4. – 14 p.

Материал поступил в редакцию 18.06.10.

T.P. LYUBANOVA, D.M. ZOZULYA

ENGINEERING MARKETING INTEGRATED METRICS AS INSTRUMENT OF EFFICIENCY ENGINEERING

A new marketing paradigm with appropriate instruments of its implementation in engineering activity is presented. Engineering marketing complex as a set of variables for the efficiency engineering; engineering marketing business model executed with the help of psychoheuristic programming is described.
Key words: engineering marketing, engineering marketing complex, integrated metrics, engineering marketing business model.

ЛЮБАНОВА Татьяна Петровна, профессор кафедры «Инженерная экономика и маркетинг» Донского государственного технического университета, кандидат экономических наук (1969), профессор (2001). Окончила факультет «Технология машиностроения» Ростовского института сельскохозяйственного машиностроения (1959).
Область научных интересов: инженерный маркетинг, стратегическое планирование, индикативное планирование, бизнес-планирование.
Автор более 200 публикаций.

oferta2008@mail.ru

ЗОЗУЛЯ Дарья Михайловна, ассистент кафедры «Инженерная экономика и маркетинг» Донского государственного технического университета. Окончила факультеты «Международный» и «Иностранные языки» Донского государственного технического университета (2007).
Область научных интересов: инженерный маркетинг, бизнес-планирование.
Автор 15 публикаций.

daria_zozulya@mail.ru

Tatiana P. LYUBANOVA, Professor of the Engineering Economics and Marketing Department, Don State Technical University. Candidate of Science in Economics (1969), Professor (2001). She graduated from the Engineering Technology Faculty, Rostov Institute of Agricultural Engineering (1959).
Research interests: engineering marketing, strategic planning, indicative planning, business planning.
Author of more than 200 scientific publications.

oferta2008@mail.ru

Daria M. ZOZULYA, Teaching Assistant of the Engineering Economics and Marketing Department, Don State Technical University. She graduated from the International Faculty and the Faculty of Foreign Languages, Don State Technical University (2007).
Research interests: engineering marketing, business planning.
Author of 15 scientific publications.

daria_zozulya@mail.ru

УДК 339.138:005.591.6:658

М.В. КОЛЬГАН, П.Л. КОЛЬГАН

«ОТКРЫТАЯ СИСТЕМА МАРКЕТИНГА» КАК СПОСОБ ПОДДЕРЖАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Рассмотрена «открытая система маркетинга», с помощью которой современное предприятие способно динамично реагировать на рыночные изменения. За основу взят проект Open Source, принципиально новый маркетинговый подход подачи и реализации инновационного товара или услуги.
Ключевые слова: *«открытая система маркетинга», открытый источник, вовлеченность, приверженность, инновационный маркетинг.*

Введение. Инновационный продукт – результат повышения конкуренции между крупными игроками рынка. Все ведущие компании, владеющие объемными фондами, инвестируют средства в развитие научно-исследовательских работ, тем самым повышая свою конкурентоспособность. Как следствие, к инновационному продукту предъявляются повышенные требования как со стороны продвижения и реализации, так и образованности и осведомленности потребителя, т.е. необходимо увеличение информационной емкости товара. В статье характеризуется такая система, для этого будут рассмотрены следующие вопросы:

– роль покупателя в формировании инновационного товара;
– система *Open Source*, взятая за основу предлагаемой системы;
– этапы разработки нового товара;
– структура и порядок работы предлагаемой «открытой системы маркетинга».

Понятие «инновация» не раскрывает всего многообразия проявлений рыночного успеха нового продукта. Иногда потребителю нужна не реальная инновация, а виртуальная, новая идея, а не новый продукт. Например, первый «Айфон» специалисты по информационным технологиям вообще назвали «пустым». Он не был инновационным продуктом, а по уровню технического оснащения он отставал от других смартфонов. Но у него был инновационный имидж и новый интерфейс. Игровая приставка «Playstation 3» от «SONY» была и остается самым инновационным продуктом на рынке на сегодняшний день, так как обладает поистине запредельной мощностью и функционалом. Однако потребитель предпочел «Nintendo Wii», где не было достаточно мощности, просто сама приставка и ее органы управления были более «прикольными», «заточенными» под игру. Можно вспомнить квас «Никола», новая идея подачи потребителю сделала его безоговорочным лидером, который потеснил даже такие крупные бренды, как «Кока-Кола» и «Пепси». Корпорация «Ford Motor» тратит на инновации больше всех автопроизводителей мира – почти 10 млрд долларов в год, при этом несет огромные убытки. Следовательно, ведущие мировые компании не знают ответ на вопрос: какая инновация и когда нужна?

Новый маркетинговый подход реализации инновационного товара или услуги. Инновационная деятельность предприятия стала ядром конкурентной стратегии. Чтобы не упустить инновационные возможности, менеджерам необходимо постоянно искать новаторские подходы, в том числе к поставкам существующих продуктов и обслуживанию потребителей. В индустриальном обществе, зависящем от ресурсов и факторов производств, практически невозможно создать инновационный продукт, состоящий только из научно-технического достижения, но необходим и инновационный маркетинг как фактор, сопутствующий его развитию. Маркетинг – система с обратной связью, где обратным управляющим воздействием является мнение или отзыв покупателя (рис.1).

В инновационном маркетинге поведение покупателя значительно трансформируется, оно становится более активным, покупатель участвует в формировании не только спроса и мнения о покупке, но и вовлечен в создание продукта, усовершенствование его производства, а также реализацию.



Рис.1. Применение принципа обратной связи [1]

Аналогичная система уже существует в самой молодой и одновременно очень крупной, динамичной отрасли мировой экономики – *IT*-индустрии (*Information Technology* – информационные технологии). *Open Source* – новая экономическая модель, построенная на технологиях открытых обеспечений, способна поглощать позиции участников отрасли, вышедших в лидеры за последние полтора десятилетия. По результатам исследования аналитиков компании «*Forrester Research*» среди предпочтений компаний, использующих *IT*-продукты и услуги, 74 % решений построено на открытом коде, при этом планируется дальнейшее увеличение его составляющих на 20 %. Согласно списку Top.500.org под управлением операционных систем, построенных на базе *Open Source*, работает около 75 % из 500 мощнейших суперкомпьютеров мира.

При содействии Министерства экономики и промышленности Франции под девизом: «Нематериальная экономика: рост завтрашнего дня» близ Парижа был возведен Центр разработки программного обеспечения с открытым кодом. Такое же решение приняла коллегия Министерства информационных технологий и связи Российской Федерации. При этом было отмечено, что использование *Open Source* для государственных нужд и крупных игроков нашей экономики существенно сократит расходы и улучшит рыночные условия и конкурентоспособность, так как в *IT*-секторе трудятся талантливые специалисты. *Open Source*–технология поддерживается такими крупными игроками, как *«IBM», «HP», «Sun», «Novell», «Philips», «Sony» и «Red Hat».*

В *Open Source* потребитель – не просто источник получения прибыли, а динамичное звено, участник процесса формирования конечного облика и реализации выпускаемого товара. Современное информационное общество – социально активное население, в большинстве своем средний класс.

Субъект в информационном обществе реализует основную потребность в самовыражении, потребность выразить мысли и идеи объясняет такое обилие форумов и блогов во всемирной сети. Сам Интернет меняется с повышением требований мирового сообщества. Как результат появились технологии Web 2.0, а также сеть уровня Web 3.0, в которой предоставлен качественно другой уровень информационного наполнения. *Open Source* – это такая среда, в которой любой человек, имеющий соответствующую интеллектуальную подготовку, может не только выразить свои мысли, но и реализовать их в конкретном готовом продукте. За счет этого достигается сколь угодно объемное масштабирование проекта, повышение качества и улучшение характеристик продукта, его актуальность. При этом уменьшаются сроки разработки и внедрения, так как сами члены являются заинтересованными в скорейшем выпуске продукта и вовлечены в процесс его производства, а также увеличивается численность самих разработчиков. Аналогичные механизмы частично применялись и ранее, например, корпорация *«Microsoft»* еще в 2004 г., заботясь о будущем облике новой операционной системы (Windows 7), привлекла к разработке дизайна открытое сообщество.

Система *Open Source* поставляется пользователям вместе с исходными текстами, а они при желании могут изменять их по своему усмотрению и в соответствии со своими нуждами. Это

позволяет обеспечить недостижимый для систем с закрытым кодом уровень удовлетворения требований пользователя. Действительно, настройка, интеграция и доработка системы возможна в самых широких пределах и варьируется в зависимости от пожеланий и нужд клиента. Кроме того, внутренние алгоритмы работы приложения понятны специалисту из исходных текстов программы, что дает возможность заказчику повысить эффективность вносимых изменений, не разрушая целостности системы. Это новое поколение систем, которые основаны на принципе свободного источника. Широкие возможности настройки под конкретные бизнес-процессы компании, относительно невысокая стоимость внедрения систем, построенных по принципу прозрачности механизмов формирования, должны стать стимулом для российских компаний, так как действительно открыты для потенциальных инвесторов и потребителей, любого количества разработчиков и участников проекта.

Можно использовать данный тип системы как принципиально новый маркетинговый подход для подачи и реализации инновационного товара или услуги. Удовлетворение и удержание потребителя – это ключевые факторы успеха предпринимателей, а потребительская удовлетворенность лежит в основе лояльности или приверженности потребителей.

Ф. Котлер определяет два способа удержания потребителей: создание условий, препятствующих обращению к другим продавцам, и полное удовлетворение потребителя, который вряд ли польстится на предлагаемые конкурентами низкие цены или другие стимулы [1]. Предлагается еще один способ привлечения потребителя – его вовлеченность в процесс создания нового товара на всех этапах разработки, т.е. поиск идей новых товаров, их селекция и экономический анализ, а также развитие концепции продукта, создание дизайна и современной торговой марки, оценка качества товара, его конкурентоспособность и разработка способов реализации.

Таким образом, у потребителя появляется мнение, что он формирует то, что будет потреблять и как. Возникает несколько типов приверженности к данному товару:

– ради самоутверждения, так как потребитель самовыражается через влияние на жизнь данного товара и тем самым повышает самооценку;

– дифференцированная, основывается на осознании потребителем превосходства товара;

– в силу осведомленности, является результатом знаний потребителя о товаре.

«Открытая система маркетинга» строится следующим образом: компания предлагает спектр маркетинговых услуг, с помощью потенциальных клиентов и людей, вовлеченных в процесс создания или реализации товара, формируется заказ. Маркетинговая компания, таким образом, использует не только бесплатный интеллектуальный людской ресурс, но и ресурс приверженности, вовлеченности, удовлетворенности, а значит, качество, полезность и необходимость данного товара потребителю обеспечена (рис.2). Для заказчика оплата за услуги не значительна или нулевая. В дальнейшем потребитель обращается в службу поддержки и сервиса, чтобы получить «инструкции» по использованию, дополнительную информацию или сообщить о проблемах, возникших в ходе эксплуатации. Послепродажное обслуживание – один из мощнейших инструментов удержания клиентов и расширения связи с ними.

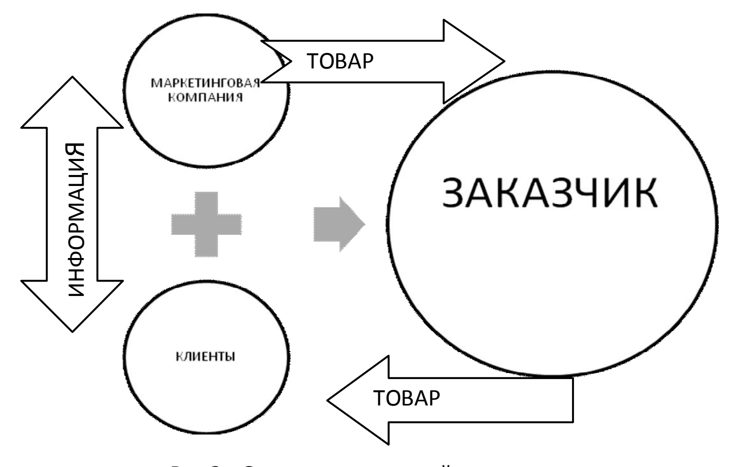


Рис.2. Структура «открытой системы маркетинга»

Данная система позволит продавцу строить свою деятельность в нужном направлении, качественно делать работу над ошибками, знать потребности и предпочтения потребителей. Потребителю же эта система дает возможность влиять на развитие того или иного продукта, он вовлечен в процесс, а значит, заинтересован товаром, компанией и ее деятельностью.

Развивать инновационную деятельность зачастую возможно только крупным предприятиям, имеющим большие финансовые и человеческие ресурсы. С предлагаемой «открытой системой маркетинга» многим компаниям откроется возможность с помощью большого числа вовлеченных людей и наименьшими затратами создавать инновационные товары, а также новые способы, методы и приемы продвижения и реализации товаров и услуг.

Выводы.

1. В информационном обществе понятие покупатель трансформируется, ему отводится активная и приоритетная роль, он вовлечен в создание, усовершенствование товара и способов его продвижения.

2. Системы категории *Open Source* поставляются пользователям вместе с исходными текстами, а пользователь при желании может изменять их по своему усмотрению и в соответствии со своими нуждами. *Open Source* обладают прозрачностью механизмов формирования систем. Поэтому система получается действительно открытой не только для потенциальных инвесторов, но также потенциальных потребителей и любого количества разработчиков и участников проекта.

3. Предлагается удержание потребителя с помощью вовлеченности в процесс создания нового товара на всех этапах его разработки.

4. Предложена «открытая система маркетинга» для повышения инновационной активности предприятия. Данная система открывает новые возможности для продавцов, так как потребитель не только участвует в разработке различных аспектов деятельности компании, но и творчески выражается, самоутверждается. «Открытая маркетинговая система» обладает обратной связью, что поможет не только получать прибыль и качественно работать, а также вести деятельность на новом уровне.

Библиографический список

1. Маркетинг менеджмент / Ф. Котлер: 11-ое изд. – СПб.: Питер, 2004. – 800 с.
2. Самарин А. Эталонная модель BPM / А. Самарин // Открытые системы. – 2009. – № 1. – С. 25–30.
3. Христофоров А. Инновационные каналы продвижения: социальные сети / А. Христофоров, И. Христофорова // Маркетинг. – 2009. – № 3 (106). – С.58–66.
4. Мессершмит Д. Назад к пользователю / Д. Мессершмит // Открытые системы. – 2004. – С. 73–75.
5. Саори М. Японские правила успеха продуктовых инноваций / М. Саори // Маркетинг. – № 6 (103). – С. 91–101.
6. Дубова Н. Экосистема инноваций / Н. Дубова // Открытые системы. – 2009. – № 1. – С. 50–55.
7. Овчаренко Г.В. Новационные изменения как фактор качественного экономического роста / Г.В. Овчаренко // TERRA ECONOMICUS. Эконом. вестн. РГУ. – 2009. – Т. 7. – № 1. – С. 133–135.
8. Охорзина Ю.О. Дискаунтеры: особенности покупательского потока и способы влияния на него / Ю.О. Охорзина // Маркетинг в России и за рубежом. – 2009. – № 2 (70). – С. 121–124.
9. Скуднова Н.И. Управление конкурентами. Шах и мат на бизнес-поле / Н.И. Скуднова. – СПб.: Питер, 2008. – 204 с.
10. Парамонова Т. Влияние традиционного и эмпирического маркетинга на поведение покупателя / Т. Парамонова, Е. Депутатова // Маркетинг. – 2009. – № 4(107). – С. 27–33.
11. Макграттен Э. Кризис-шанс для Open Source / Э. Макграттен // Открытые системы. –2009. – № 7. – С. 61–62.

References

1. Marketing menedjment / F. Kotler: 11-oe izd. – SPb.: Piter, 2004. – 800 s. – in Russian.
2. Samarin A. Etalonnaya model' BPM / A. Samarin // Otkrytye sistemy. – 2009. – № 1. – S. 25–30. – in Russian.
3. Hristoforov A. Innovacionnye kanaly prodvijeniya: social'nye seti / A. Hristoforov, I. Hristoforova // Marketing. – 2009. – № 3(106). – S.58–66. – in Russian.

4. Messershmit D. Nazad k pol'zovatelyu / D. Messershmit // Otkrytye sistemy. – 2004. – S. 73–75. – in Russian.
5. Saori M. Yaponskie pravila uspeha produktovyh innovacii / M. Saori // Marketing. – № 6 (103). – S. 91–101. – in Russian.
6. Dubova N. Ekosistema innovacii / N. Dubova // Otkrytye sistemy. – 2009. – № 1. – S. 50–55. – in Russian.
7. Ovcharenko G.V. Novacionnye izmeneniya kak faktor kachestvennogo ekonomicheskogo rosta / G.V. Ovcharenko // TERRA ECONOMICUS. Ekonom. vestn. RGU. – 2009. – T. 7. – № 1. – S. 133–135. – in Russian.
8. Ohorzina Yu.O. Diskauntery: osobennosti pokupatel'skogo potoka i sposoby vliyaniya na nego / Yu.O. Ohorzina // Marketing v Rossii i za rubejom. – 2009. – № 2 (70). – S. 121–124. – in Russian.
9. Skudnova N.I. Upravlenie konkurentami. Shah i mat na biznes-pole / N.I. Skudnova. – SPb.: Piter, 2008. – 204 s. – in Russian.
10. Paramonova T. Vliyanie tradicionnogo i empiricheskogo marketinga na povedenie pokupatelya / T. Paramonova, E. Deputatova // Marketing. – 2009. – № 4(107). – S. 27–33. – in Russian.
11. Makgratten E. Krizis-shans dlya Open Source / E. Makgratten // Otkrytye sistemy. – 2009. – № 7. – S. 61–62. – in Russian.

Материал поступил в редакцию 25.05.10.

M.V. KOLGAN, P.L. KOLGAN

«OPEN MARKETING SYSTEM» AS A WAY OF INNOVATIVE ENTERPRISE SUPPORTING

The creation of 'open marketing system' which can help a modern and active enterprise to respond dynamically to market changes is suggested. Open Source taken as a basis is a new marketing mix to supply and implement an innovative product or service.
Key words: 'open marketing system', Open Source, involvement, commitment, innovative marketing.

КОЛЬГАН Мария Владимировна, аспирант кафедры «Экономика» Донского государственного технического университета (2009). Окончила гуманитарный факультет Донского государственного технического университета (2007).
Область научных интересов: управление конкурентоспособностью в сфере розничной торговли, инновационный маркетинг.
Автор 2 публикаций.

kolgan.m@ya.ru

КОЛЬГАН Павел Леонидович (р. 1984), преподаватель колледжа «Экономика, управление и право» Донского государственного технического университета. Окончил факультет «Автоматизация и управление» Донского государственного технического университета (2007).
Область научных интересов: базы данных и открытые системы.

kolgan.m@ya.ru

Maria V. KOLGAN, Postgraduate student (2009) of the Economics Department, Don State Technical University. She graduated from the Humanities Faculty, Don State Technical University (2007).
Research interests: competitiveness management in retailing sector, innovative marketing.
Author of 2 scientific publications.

kolgan.m@ya.ru

Pavel L. KOLGAN (1984), Lecturer of the of Economics, Management and Law College, Don State Technical University. He graduated from the Automation, Mechatronics and Management Faculty, Don State Technical University (2007).
Research interests: databases and open systems.

kolgan.m@ya.ru

СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

УДК 101.1:316.7:271.2

М.В. КОШМАН

РУССКАЯ ПРАВОСЛАВНАЯ ЦЕРКОВЬ КАК СУБЪЕКТ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: СОЦИАЛЬНО-ФИЛОСОФСКИЙ АНАЛИЗ

Осуществлен социально-философский анализ информационно-коммуникационной деятельности Русской Православной церкви как важного фактора интеграции российского социума и становления в стране гражданского общества.
Ключевые слова: *Русская Православная церковь (РПЦ), связи с общественностью (PR), диалог, социокультурная интеграция, гражданское общество.*

Введение. На современном этапе исторического развития российского общества «особое значение приобретает осознание новых возможностей для осуществления общественных преобразований и роста энтузиазма населения по поводу реализации прорывных направлений социального, экономического, духовного развития» [1]. По мнению многих исследователей, в эпоху информационно-коммуникационного прогресса складываются объективные предпосылки для масштабного конструктивного диалога в системе «власть – общество» по важнейшим вопросам бытия социума.

С нашей точки зрения, не вызывает сомнения тот факт, что в современных условиях инициатива при решении актуальных проблем социально-экономического и политического развития страны должна исходить не только «сверху». Активным субъектом преобразовательной деятельности может и должно стать само общество. Иными словами, используя терминологию немецкого философа и социолога Ю. Хабермаса, можно сказать, что российская власть и общественность должны выступить в роли полноправных акторов коммуникативного действия, ориентированного на выработку согласованной позиции относительно сценария и механизмов реализации социально-политических и экономических преобразований, гармонизации общественных отношений.

Однако современная российская социокультурная ситуация, оцениваемая многими исследователями как крайне сложная и противоречивая, характеризуется целым рядом проблем, являющихся серьезным препятствием на пути демократизации общественно-политической сферы, установления общественно-государственного диалога и функционирования общественного дискурса как важных факторов развития гражданских инициатив и становления институтов гражданского общества. В этой связи, прежде всего, необходимо отметить такую негативную тенденцию, утвердившуюся в российском социуме, как усиление социально-культурной разобщенности, что является основной причиной социального несогласия, проявления интолерантных форм поведения, возникновения различного рода конфликтных ситуаций.

Совершенно очевидно, что задача консолидации российского общества как ключевого фактора формирования активной гражданской позиции членов различных социокультурных групп является общей задачей государства, целого ряда социальных институций и формирующихся сегодня в России институтов гражданского общества.

В качестве эффективного демократическо-гуманистического инструмента общественной интеграции, адекватного крайне сложной социально-коммуникационной ситуации, обозначившейся в России, с нашей точки зрения, могут рассматриваться связи с общественностью (*PR*) как социальная коммуникация. Определяющим условием использования *PR*-коммуникаций для преодоления в социуме культурных, социальных, религиозных, ценностно-идеологических противоречий, снятия социального напряжения, организации общественного полилога и, таким образом, консолидации современного российского общества является субъект-субъектный, диалогический принцип их функционирования.

Следовательно, проблема реализации идеи функционирования связей с общественностью как эффективной антикризисной, социумообразующей, социальной коммуникации должна актуализироваться для всех участников социально-политического процесса.

Информационно-коммуникационная деятельность РПЦ. Среди общественных организаций, широко использующих *PR* как диалогически ориентированную социальную коммуникацию в решении обозначенных проблем, Русская Православная церковь (РПЦ) занимает особое место.

Можно утверждать, что в условиях охватившего современное российское общество духовно-нравственного кризиса и активизировавшегося процесса «рассыпания» социума на микрогруппы, происходит кардинальная переоценка роли РПЦ в жизни общества. Все увереннее звучат заявления крупных политиков, ученых, общественных деятелей, представителей культуры и искусства об объективной необходимости интеграции церкви в решение общественных проблем как национального, так и международного значения, и содействия достижению социального согласия, гармонизации общественных отношений и, как следствие, консолидации социума. Для многих совершенно очевидным становится тот факт, что в современном поликультурном, плюралистическом российском обществе одним из основных интеграционных ресурсов являются духовно-нравственные ценности и идеалы, составляющие основу официальных религиозных учений.

Таким образом, сегодня перед РПЦ актуализируются задачи расширения присутствия в общественном и медийном пространстве, отработки и эффективного использования *PR*-инструментов в установлении диалога с многочисленными группами общественности: представителями различных конфессий, органами государственной власти, международными организациями, институтами гражданского общества, СМИ.

Рассмотрим наиболее важные, с нашей точки зрения, аспекты информационно-коммуникационной деятельности РПЦ, артикулирующие ее *PR*-характер и направленность на решение проблемы атомизации, фрагментарности российского общества.

Анализ официальных церковных документов, заявлений, выступлений, интервью, статейных материалов представителей РПЦ позволяет заключить, что в настоящее время одним из приоритетов в деятельности РПЦ является донесение до широкой общественности позиции по значимым вопросам бытия социума, создание необходимых коммуникационных условий для выработки многочисленными субъектами социально-культурного пространства консолидированных решений. В этой связи нужно отметить, что в работе над проблемными вопросами современного российского общества необходимо достижение широкого церковно-государственно-общественного партнерства [2]. Действенным инструментом, дающим возможность прийти к конструктивным партнерским отношениям, по мнению Предстоятеля Русской Православной церкви, является диалог, поскольку именно в диалоге стороны используют «не язык спора, но язык взаимной поддержки и общего дела»[1].

Обращаясь к проблеме социальной роли РПЦ в современном информатизирующемся российском обществе, Патриарх Московский и всея Руси Кирилл отметил в статье «Православное единство и православное свидетельство в современном мире», что в период, последовавший за крахом государственного атеизма, церковью «была занята единственно правильная позиция, подразумевающая следование принципу информационной открытости» [2].

Факт осознания острой необходимости информационного развития и информационной открытости РПЦ находит подтверждение в положениях официального церковного документа «Основы социальной концепции Русской Православной Церкви», утвержденного Архиерейским Собором в 2000 г., и в Определении Архиерейского Собора 2008 г. «О вопросах внутренней жизни и внешней деятельности Русской Православной Церкви».

Отметим основные принципы информационно-коммуникационной деятельности РПЦ, которые, на наш взгляд, убедительно доказывают стремление церкви к открытости, прозрачности своей деятельности, к установлению и развитию *PR*-диалога с обществом и государством.

Согласно положению 15 «Основ социальной концепции Русской Православной церкви», излагающему базовые принципы взаимодействия церкви и светских СМИ, сотрудничество РПЦ и СМИ осуществляется путем создания в светских СМИ особых форм церковного присутствия. В документе также отмечается, что «взаимодействие церкви и светских средств массовой информации предполагает взаимную ответственность. Информация, предоставленная журналисту и пе-

---

[1] Слово Святейшего Патриарха Кирилла на открытии XVII Международных Рождественских образовательных чтений [Электронный ресурс]: офиц. сайт Московского Патриархата. – URL: http://www.patriarchia.ru/db/text/559408.html.

редаваемая им аудитории, должна быть достоверной. Мнения священнослужителей или иных представителей церкви, распространяемые через СМИ, должны соответствовать ее учению и позиции по общественным вопросам»[1].

Важным ориентиром, определяющим основные направления и характер информационно-коммуникационного развития РПЦ, по нашему мнению, можно считать сформулированную в Определении Архиерейского Собора 2008 г. «О вопросах внутренней жизни и внешней деятельности Русской Православной церкви» задачу по созданию единого информационного пространства РПЦ. В документе отмечается в этой связи: «Собор рекомендует всем епархиям материально поддерживать региональные церковные СМИ и иметь регулярно обновляемые Интернет-сайты, содержащие информацию обо всех значимых событиях церковной жизни региона, а также о взаимоотношениях церкви со светской властью и обществом. Нормой должна быть открытость к взаимодействию со светскими средствами массовой информации» [3].

Далее будет осуществлен анализ некоторых, с нашей точки зрения, принципиально важных в современном социокультурном контексте направлений информационно-коммуникационной деятельности РПЦ, ориентированной на решение социально значимых проблем и способствующей консолидации российского общества, рассмотрены основные формы *PR* как социальной коммуникации, используемые РПЦ для установления диалогических, партнерских отношений с целевыми группами общественности.

Социально-значимым направлением информационно-коммуникационной деятельности РПЦ, в рамках которого активно реализуются диалогически ориентированные *PR*-коммуникации, является работа в сфере образования и духовно-нравственного воспитания российской молодежи. Подчеркивая важность постоянного воспитательного диалога с молодым поколением, Патриарх Московский и всея Руси Кирилл в своей приветственной речи, прозвучавшей в феврале 2009 г. на открытии III Сретенских встреч православной молодежи, отметил: «… молодежь – это передняя линия борьбы не только за будущее, но и за самого человека… Церковь не может не иметь молодежной темы в своих приоритетах именно в современных условиях. Мы делаем, и будем делать все для того, чтобы изменилась жизнь человеческого общества. Чтобы такие понятия, как доброта и сила духа стали бы притягательными для молодежи»[2].

Существенный вклад в духовно-нравственное воспитание подрастающего поколения, с точки зрения Патриарха Московского и всея Руси Кирилла, может внести прямое общение представителей РПЦ с молодежными аудиториями. Среди *PR*-инструментов, которые РПЦ использует в настоящее время для развития и укрепления церковно-молодежного диалога, можно отметить встречи, форумы, конференции, онлайн-конференции и др.

Одной из первостепенных задач РПЦ в решении проблемы развития морально-нравственного сознания российской молодежи как одного из ключевых условий гармонизации отношений в поликультурном, плюралистическом российском обществе является установление партнерских отношений церкви и института светского образования.

Неоспоримым фактом признания представителями академического сообщества необходимости сотрудничества российского высшего образования и РПЦ в сфере духовно-нравственного воспитания студенческой молодежи стало предложение, с которым обратился 25 января 2010 г. к Патриарху Московскому и всея Руси Кириллу ректор Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, президент Российского союза ректоров, академик В.А. Садовничий. Согласно заявлению В.А Садовничего, «пришло время институализации системы духовно-академических связей, обретения ею должного статуса в обществе и государстве. Это продикто-

[1] Основы социальной концепции Русской Православной церкви [Электронный ресурс]. – URL: http://www.patriarchia.ru/db/text/141422.html.
[2] Святейший Патриарх Кирилл: «Работа с молодежью — приоритетная задача Церкви» [Электронный ресурс]: Офиц. сайт Московского Патриархата. – URL: http://www.patriarchia.ru/db/text/558930.html.

вано общностью многих задач церкви и образования, в числе которых просвещение, служение обществу и Отечеству»[1].

В настоящее время РПЦ накоплен значительный опыт организации диалогического *PR*-взаимодействия с государством, общественными организациями. Так, например, традиционной является работа представителей РПЦ, Министерства образования и науки Российской Федерации, других органов государственной власти и институтов гражданского общества в рамках Международных Рождественских образовательных чтений – крупного ежегодного *PR*-мероприятия, проводимого отделом религиозного образования и катехизации РПЦ. По словам Председателя Правительства РФ В.В. Путина, сегодня Международные Рождественские образовательные чтения предоставляют возможность для широкого и открытого обсуждения «проблем, связанных с совершенствованием системы отечественного образования, укреплением конструктивного диалога церкви и государства в этой важнейшей сфере»[2]. Артикулируя диалоговый *PR*-формат Международных Рождественских образовательных чтений, Патриарх Московский и всея Руси Кирилл в своем выступлении, посвященном их открытию в 2009 г., отметил: «… за годы своего существования чтения стали представительным общецерковным форумом, удачно сочетающим научно-образовательные конференции, круглые столы, практические семинары, различные формы братского общения»[3].

Чрезвычайно важным направлением работы РПЦ в решении проблемы общественной дезинтеграции, преодолении социального напряжения является «миротворчество на международном, межэтническом, и гражданском уровнях, содействие взаимопониманию и сотрудничеству между людьми, народами и государствами»[4]. Практика показывает, что деятельность РПЦ в данной области осуществляется посредством постоянного использования различных *PR*-инструментов как диалогически ориентированной социальной коммуникации.

Прежде всего, следует отметить, что РПЦ является активным участником Христианского межконфессионального консультативного комитета СНГ и стран Балтии (ХМКК), целью функционирования которого выступает «координация совместной деятельности христианских конфессий в деле содействия гражданскому миру, предотвращения межнациональных, межрелигиозных и иных конфликтов, обеспечения согласия и стабильности в обществе»[5]. Работа ХМКК выстраивается преимущественно на диалогической основе. Среди основных направлений деятельности данной организации, подчеркивающих ее *PR*-характер, можно отметить следующие:

– проведение международных конференций, семинаров, симпозиумов и иных мероприятий в России и за рубежом;

– информирование *PR*-средствами широкой общественности об опыте урегулирования межрелигиозных конфликтов и развития конструктивного диалога.

По мнению Председателя Отдела внешних церковных связей Московского Патриархата (ОВЦС) митрополита Волоколамского Иллариона, в настоящее время ХМКК представляет «платформу для диалога и сотрудничества, позволяет выработать согласованную позицию христианских церквей по ключевым вопросам, которые ставит перед нами современность. Сам инструмент ХМКК уникален, он является моделью «большой Европы», так как в нем состоят представители

---

[1] Академик В.А. Садовничий предложил заключить договор о сотрудничестве между Русской Православной церковью и Российским союзом ректоров [Электронный ресурс]: офиц. сайт Московского Патриархата. – URL: http://www.patriarchia.ru/db/text/1049017.html.

[2] Председатель Правительства России В.В. Путин направил приветствие участникам XVIII Международных Рождественских образовательных чтений [Электронный ресурс]: Интернет-портал Правительства Российской Федерации. – URL: http://premier.gov.ru/events/messages/9123/.

[3] Слово Святейшего Патриарха Кирилла на открытии XVII Международных Рождественских образовательных чтений [Электронный ресурс]: офиц. сайт Московского Патриархата. – URL: http://www.patriarchia.ru/db/text/559408.html.

[4] Основы социальной концепции Русской Православной церкви [Электронный ресурс]. – URL: http://www.patriarchia.ru/db/text/141422.html.

[5] О Комитете / Христианский межконфессиональный консультативный комитет [Электронный ресурс]. – URL: http://www.xmkk.org/about-committee.

христианских церквей целого ряда государств, входящих в различные политические объединения, – в Европейский Союз, СНГ»[1].

PR как социальная коммуникация, обладающая высоким интеграционным потенциалом, также используются в качестве основного инструмента организации двухстороннего диалога, развития многогранного сотрудничества между РПЦ и традиционными нехристианскими религиями – исламом, буддизмом, иудаизмом. Примером долгосрочного *PR*-сотрудничества в сфере развития и укрепления межнационального и межрелигиозного диалога можно считать работу представителей РПЦ и мусульманской общины Исламской Республики Иран в рамках регулярно проводимых с 1998 г. в дискуссионном формате заседаний Совместной российско-иранской комиссии по диалогу «Ислам – Православие».

Необходимо отметить, что деятельность по гуманизации межнациональных, межэтнических отношений в современном мире, а также преодолению целого ряда актуальных социальных проблем и установлению *PR*-диалога с международными организациями осуществляется Отделом внешних церковных связей Московского Патриархата

Примером эффективного использования РПЦ *PR*-коммуникаций для развития партнерских отношений с международными организациями является коммуникационная деятельность ОВЦС по привлечению внимания к актуальным проблемам российского общества агентств ООН, функционирующих на территории России. По словам заместителя председателя ОВЦС игумена Филиппа (Ю.А. Рябых), в настоящее время работа РПЦ со структурами ООН «переходит в русло конкретного практического взаимодействия» [4]. Так, в ноябре 2009 г. в Москве состоялся Круглый стол на тему «Укрепление партнерства между Русской Православной Церковью и агентствами ООН в Российской Федерации», на котором стороны определили основные направления совместной деятельности: защита прав и достоинства человека, решение проблем образования и здравоохранения, помощь пострадавшим в чрезвычайных ситуациях, профилактика рискованного и антиобщественного поведения, работа с молодежью и др.[2].

Важным аспектом социально-коммуникационной деятельности РПЦ, способствующей интеграции российского социума и развитию общественного дискурса, является организация *PR*-диалога между РПЦ и структурами гражданского общества. Председатель Синодального отдела по взаимоотношениям церкви и общества протоиерей В. Чаплин в статье «Состояние и актуальные вопросы церковно-государственных и церковно-общественных отношений» акцентирует внимание на том, что сегодня РПЦ не только участвует в мероприятиях, проводимых политическими партиями, научными, общественными, профсоюзными, предпринимательскими, культурными, медийными, молодежными и иными объединениями, но все чаще осуществляет с ними совместные программы и проекты [5].

Высокая *PR*-активность РПЦ по установлению масштабного церковно-общественного и церковно-государственного диалога, привлечению внимания широкой общественности к актуальным проблемам современного российского общества подтверждает информационно-коммуникационная деятельность РПЦ, осуществляемая в рамках Всемирного Русского Народного Собора (ВРНС) – международной общественной организации-форума, возглавляемой Патриархом Московским и всея Руси Кириллом.

С 1993 г. в работе ВРНС как крупного ежегодного общественного форума принимают участие представители традиционных религий России, общественных организаций, органов государственной власти, работники сферы образования, ученые, деятели культуры, искусства, студенты, участники молодежных организаций и др. Следует отметить, что определяющим условием установления диалогических отношений между многочисленными участниками форума, консолидации их усилий в процессе поиска эффективных гуманистических инструментов решения социально-значимых проблем современности является дискуссионный *PR*-формат мероприятий, традиционно формирующих официальную программу ВРНС.

---

[1] Комитет – платформа для диалога и сотрудничества / Христианский межконфессиональный консультативный комитет [Электронный ресурс]. – URL: http://www.xmkk.org/2009/10/35.

[2] В Москве завершил работу Круглый стол по вопросам взаимодействия между Русской Православной церковью и агентствами ООН [Электронный ресурс]: офиц. сайт Московского Патриархата. – URL: http://www.patriarchia.ru/db/text/954492.html.

Заключение. Таким образом, предпринятое исследование дает основание для следующих выводов.

Во-первых, РПЦ является субъектом масштабной, полиаспектной информационно-коммуникационной деятельности, ориентированной на гуманизацию, гармонизацию отношений в социальном мире.

Во-вторых, информационно-коммуникационная деятельность РПЦ является важным фактором интеграции мультикультурного, плюралистического российского социума и становления в стране гражданского общества. Это обусловлено, главным образом, тем, что сегодня РПЦ активно реализует, с одной стороны, воспитательную функцию, заключающуюся в формировании морально-нравственного сознания транзитивного российского социума, с другой, важную функцию модератора, координатора взаимодействия субъектов многомерного социально-культурного и политического пространства в процессе решения актуальных социальных проблем, отработки антикризисных механизмов действия.

В-третьих, основным инструментом информационно-коммуникационной деятельности РПЦ являются связи с общественностью как в высшей мере демократическая, гуманистическая социальная коммуникация, направленная на достижение понимания, согласия между субъектами коммуникативных интеракций.

Библиографический список

1. Худяков С. Социокультурная динамика и консолидация российского общества [Электронный ресурс] / С. Худяков // Власть. – 2009. – № 3. – Режим доступа: http://www.isras.ru/files/File/Vlast/2009/03/Sociokulturnaya%20dinamika.pdf.

2. Митрополит Смоленский и Калининградский Кирилл. Православное единство и православное свидетельство в современном мире [Электронный ресурс] / Митрополит Смоленский и Калининградский Кирилл // Церковь и время. – 2008. – № 3(44). – Режим доступа: http://www.mospat.ru/churchtime/churchtime44.pdf.

3. О вопросах внутренней жизни и внешней деятельности Русской Православной церкви: определение Архиерейского Собора [Электронный ресурс] // Церковь и время. – 2008. – № 3(44). – Режим доступа: http://www.mospat.ru/churchtime/churchtime44.pdf.

4. Липич О. РПЦ и ООН начнут взаимодействовать в социальной сфере / О. Липич. – Режим доступа: http://www.rian.ru/society/20091126/195538375.html.

5. Протоиерей Чаплин В. Состояние и актуальные вопросы церковно-государственных и церковно-общественных отношений [Электронный ресурс] / Протоиерей Всеволод Чаплин // Церковь и время. – 2008. – № 3(44). – Режим доступа: http://www.mospat.ru/churchtime/churchtime44.pdf.

References

1. Hudyakov S. Sociokul'turnaya dinamika i konsolidaciya rossiiskogo obschestva / S. Hudyakov // Vlast'. – 2009. – № 3. – http://www.isras.ru/files/File/Vlast/2009/03/Sociokulturnaya%20dinamika.pdf. - in Russian.

2. Mitropolit Smolenskii i Kaliningradskii Kirill. Pravoslavnoe edinstvo i pra-voslavnoe svidetel'stvo v sovremennom mire /Mitropolit Smolenskii i Kaliningradskii Kirill // Cerkov' i vremya. – 2008. – № 3(44). - http://www.mospat.ru/churchtime/churchtime44.pdf. - in Russian.

3. O voprosah vnutrennei jizni i vneshnei deyatel'nosti Russkoi Pravoslavnoi cerkvi: opredelenie Arhiereiskogo Sobora // Cerkov' i vremya. – 2008. – № 3(44). – http://www.mospat.ru/churchtime/churchtime44.pdf. - in Russian.

4. Lipich O. RPC i OON nachnut vzaimodeistvovat' v social'noi sfere / O. Lipich. http://www.rian.ru/society/20091126/195538375.html. - in Russian.

5. Protoierei Chaplin V. Sostoyanie i aktual'nye voprosy cerkovno-gosudarstvennyh i cerkovno-obschestvennyh otnoshenii / Protoierei Vsevolod Chaplin // Cerkov' i vremya. – 2008. – № 3(44). – http://www.mospat.ru/churchtime/churchtime44.pdf. – in Russian.

Материал поступил в редакцию 02.06.10.

M.V. KOSHMAN

RUSSIAN ORTHODOX CHURCH AS A SUBJECT OF INFORMATION-COMMUNICATION ACTIVITIES: SOCIO-PHILOSOPHIC ANALYSIS

Socio-philosophical analysis results of the Russian Orthodox Church information-communication activities are presented. These activities are an important factor of the Russian society integration and a civil society formation.
Key words: Russian Orthodox Church (ROC), Public Relations (PR), dialogue, socio-cultural integration, civil society.

КОШМАН Мария Валерьевна, старший преподаватель кафедры «Связи с общественностью» Донского государственного технического университета. Окончила гуманитарный факультет Донского государственного технического университета (2004).
Область научных интересов: социальная философия, проблема социальной коммуникации в современном обществе.
Автор 12 публикаций.

kmv1301@rambler.ru

Maria V. KOSHMAN, Senior Lecturer of the Public Relations Department, Don State Technical University. She graduated from the Humanities Faculty, Don State Technical University (2004).
Research interests: social philosophy, the problem of social communication in modern society/
Author of 12 scientific publications.

kmv1301@rambler.ru

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Статья должна быть представлена в распечатанном виде и на магнитном носителе в электронной версии с расширением doc. Шрифт Times New Roman. Кегль - 14. Межстрочный интервал для текста - 1,5. Бумага белая формата А4, ориентация книжная, площадь текста на листе 250×170 (поля со всех сторон 20 мм).

2. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице данные идут в такой последовательности: инициалы и фамилии авторов; полное название статьи; краткая аннотация (max 400 символов, включая пробелы); ключевые слова (max 150 символов). Затем идет текст самой статьи, библиографический список, сведения об авторах (ФИО, год рождения, должность и место работы, год присвоения степени и звания, название вуза и год его окончания, область научных интересов, количество публикаций, e-mail).

3. Дополнительно к статье должны быть представлены следующие материалы на английском языке: ФИО авторов, полное название статьи, аннотация (полная аналогия русской версии), ключевые слова, сведения об авторах.

4. Статья должна предусматривать разделы: введение (постановка задачи), методы испытаний, результаты эксперимента и их обсуждение, выводы или заключение.

6. Объем статьи не должен превышать 16 страниц машинописного текста, 5 рисунков или фотографий; обзора - 25 страниц, 10 рисунков; краткого сообщения - не более 3 страниц, 2 рисунков.

7. Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат tif, pcc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf). Каждый рисунок должен иметь подпись. Рисунки должны иметь контрастное изображение. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь заголовок. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в формульном редакторе MS Word.

8. Размерность физических величин, используемых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (т.е., и т.д., и т.п.).

9. Библиографический список должен оформляться в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5.-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления» и включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг - фамилии и инициалы авторов, название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц.

10. При представлении материала на рассмотрение в редакцию необходимо наличие внешней рецензии, подписанной специалистом, имеющим ученую степень доктора наук (обязательно заверенной в отделе кадров по месту работы рецензента). К статьям аспирантов и соискателей необходимо приложить отзыв научного руководителя. Для авторов, не являющихся сотрудниками ДГТУ, необходима рекомендация на имя главного редактора, подписанная научным руководителем автора (для соискателей ученой степени) или руководителем подразделения (обязательно заверенная печатью).

11. Редколлегия оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

12. Статьи, не отвечающие правилам оформления, к рассмотрению не принимаются, рукописи и магнитные носители авторам не возвращаются. Датой поступления считается день получения редколлегией окончательного текста статьи.

13. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Более подробно с правилами оформления можно ознакомиться на сайте журнала "Вестник ДГТУ" по адресу http://static.dstu.edu.ru/vestnik/index.shtml